JAMES T.
CUSHING

FİZİKTE FELSEFİ KAVRAMLAR

1

FELSEFE VE BİLİMSEL KURAMLAR ARASINDAKİ TARİHSEL İLİŞKİ

Sabancı Üniversitesi

Fizikte Felsefi Kavramlar
I

Felsefe ve Bilimsel Kuramlar Arasındaki Tarihsel İlişki

James T. Cushing

SABANCI ÜNİVERSİTESİ YAYINLARI

Fizikte Felsefi Kavramlar
I

Felsefe ve Bilimsel Kuramlar Arasındaki Tarihsel İlişki

James T. Cushing

Çeviri: B. Özgür Sarıoğlu

Philosophical Concepts in Physics
The Historical Relation between Philosophy and Scientific Theories
Cambridge University Press, Cambridge, 2000

© **James T. Cushing, 1998 / Sabancı Üniversitesi, 2003**

Türkçe yayın hakları, Akcalı Ajans aracılığıyla alınmıştır
Tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında,
yayıncının yazılı izni olmaksızın,
hiçbir yöntemle çoğaltılamaz.

ISBN (takım): 975-8362-28-3
ISBN (1.cilt): 975-8362-29-1

Birinci Basım: İstanbul, Ağustos 2003 (2000 adet)

Yayın Yönetmeni: Zafer Karaca
Yayın Danışmanı: Tekin Dereli
Yayına Hazırlayan: İlhami Buğdaycı
Tasarım-Uygulama: 3 Tasarım
Cilt: Balkan Ciltevi
Basım: Promat Basım Yayın A.Ş.

Sabancı Üniversitesi
Orhanlı, Tuzla 81474 İstanbul
yayinlar@sabanciuniv.edu
www.sabanciuniv.edu
http://yayinevi.sabanciuniv.edu

Fizikte Felsefi Kavramlar
I

Felsefe ve Bilimsel Kuramlar Arasındaki Tarihsel İlişki

James T. Cushing

Çeviri: B. Özgür Sarıoğlu

Sabancı Üniversitesi

Fizikte Felsefi Kavramlar, bilimdeki ilerlemeleri, oluştukları tarihi ve düşünsel zeminleri göz önünde tutarak ele alıyor. Okurlara, daha öncesinde yalnızca bilimin geleneksel olarak anlatılagelen öyküleriyle verilen bakış açısından ya da geçmişe dönüp baktıklarında fen derslerindeki ödev ve çalışmalarda edindiklerinden biliyor olabilecekleri, bilimsel bir atılımın doğası üzerine derinlemesine düşünme fırsatı veriliyor. Önemli bir amaç, düşünsel olarak göz önünde tutulanların, bilimin asıl uygulamasında ve bilimsel kuramların yapımında oynadıkları temel ve göz ardı edilemez rolün okuyucunun zihnine kazınmasıdır.

Bilimsel bilgi sık sık, kabul edilegelen kesinliği ve nesnel keşif yöntemi yüzünden, özünde diğer bilgi çeşitlerinden farklı olarak görülür. Birçokları tarafından anlaşılan haliyle fizik ve felsefe, birbirlerinden herhangi iki entelektüel disiplinin uzak olabilecekleri kadar ayrık oldukları izlenimi verebilir. Bununla birlikte bu kitap, fizik ve felsefenin birbirleri üzerine bugüne dek yaptıkları ve hâlâ da yapmayı sürdürdükleri, gelişimleriyle ilgili karşılıklı etkileri örnekleriyle gösteriyor. Temel düşünsel sorunlar, özgül tarihi bağlama ve konuyla ilgili bilimsel etkinliğin asıl içeriğine sıkı sıkıya bağlı kalınarak ele alınıyor.

Önce, modern bilimin eski çağlardaki ve en başlardaki tarihi için gerekli bir giriş sunuluyor; ancak bu sırada yirminci yüzyıl fiziğini önceki yüzyıllardakinden ayıran olaylara, yani göreliliğe ve özellikle kuantum mekaniğine özel vurgu yapılıyor. Okurun temel klasik fizik üzerine az da olsa belli bir bilgi birikimi olduğu varsayılıyor, ancak görelilik ya da kuantum mekaniği konusunda herhangi bir bilgiye sahip olmadığı kabul ediliyor.

Bu kitap, daha öncesinde fiziğe giriş seviyesinde bir ders almış olan; fen, mühendislik, felsefe ve sosyal bilimler öğrencilerine, felsefenin fizikle olan ilişkisine ilgi duyan bilim insanlarına ve bilim felsefecilerine özellikle ilginç gelecektir. Ayrıca bilim felsefesi konusunda üniversite üçüncü/dördüncü sınıflarda okutulacak bir derste kaynak kitap olarak da kullanılabilir.

İçindekiler

Çevirenin Önsözü XIII

Önsöz XV

Bölüm I 1

Bilimsel Girişim 3

1. Bilmenin Yolları 5
   1.1 Felsefe 6
   1.2 Mantıksal Tümdengelim 9
   1.3 Kanıt Gerekmeksizin Doğru İlk İlkeler 11
   1.4 Rasyonalistler ve Ampiristler Karşı Karşıya 14
   1.5 Bilimsel Bilginin Konumu 17
   1.A Descartes'ın *Regulae*'sı 19
   Yararlı Kaynaklar 21

2. Aristo ve Francis Bacon 23
   2.1 Aristo 23
   2.2 Gözlem ve Deney Karşı Karşıya 24

2.3 Bir Organizma Olarak Evren 26
2.4 Aristo'nun Hareket Üzerine Düşünceleri 30
2.5 Francis Bacon 34
2.6 *Yeni Organon* 36
2.7 Bacon'ın ve Aristo'nun Karşılaştırılması 38
2.A Aristo'nun *Gökler Üzerine* ve *Fizik*'te Hareket Üzerine Düşünceleri 39
Yararlı Kaynaklar 43

3. Bilim ve Metafizik 45
3.1 Bilimsel Yöntemin Kökenleri 45
3.2 Bilime Popüler Bir Bakış 47
3.3 Hume ve Mill'in Tümevarım Üzerine Düşünceleri 48
3.4 Popper'ın Gözlem ve Hipotez Üzerine Düşünceleri 49
3.5 Hipotezlerin Doğrulanmaları 52
3.6 Bilimsel Bilgi ve Gerçek 54
3.A Hume, Mill ve Popper'ın Bilimsel Bilgi Üzerine Görüşleri 56
Yararlı Kaynaklar 60

Bölüm II 61

Antik ve Çağdaş Evren Modelleri 63

4. Gözleme Dayalı Gökbilim ve Ptolemaios'un Modeli 65
4.1 Temel Gözlemler 65
4.2 Gökküre 68
4.3 Eratosthenes'in Dünya'nın Büyüklüğünü Belirleyişi 71
4.4 Aristarchus'un Güneş Merkezli Evren Modeli 72
4.5 Gezegenler 74
4.6 Ptolemaios'un Dünya Merkezli Evren Modeli 78

4.7 Olguları Kurtarmak 81
4.A Gezegen Yörüngelerinin
Mutlak Büyüklüklerinin Belirlenişi 85
Yararlı Kaynaklar 88

5. Kopernik'in Modeli ve Kepler'in Yasaları 89
5.1 Kopernik ve Güneş Merkezli Evren Modeli 90
5.2 Kopernik Kuramının Avantajları 94
5.3 Kopernik Kuramının Yetersizlikleri 97
5.4 Kepler Yasaları 99
5.A Konik Kesitler 106
Yararlı Kaynaklar 109

6. Galilei'nin Hareket Üzerine Görüşleri 111
6.1 İtki Kuramı 111
6.2 Galilei'nin Doğal Olarak İvmelenen Hareketi 114
6.3 Eğik Atış 119
6.4 Eylemsizlik 120
6.5 Galilei'nin Aristo Hakkında Görüşleri 122
6.A Galilei'nin *İki Yeni Bilim Üzerine Söyleşileri* 126
Yararlı Kaynaklar 129

Bölüm III 131

Newton Evreni 133

7. Newton'un *Principia*'sı 135
7.1 Isaac Newton 135
7.2 Newton'un Bilim Felsefesi 142
7.3 Newton'un *Principia*'smdaki
Akıl Yürütmenin Ana Hatları 146
7.4 Newton'un Üç Hareket Yasası 149

7.5 Klasik Mekaniğin Mantıksal Yapısı 153
Yararlı Kaynaklar 156

8. Newton'un Evrensel Kütleçekim Yasası 157
8.1 Newton'un Gökbilimsel Verileri ve Çıkarımları 158
8.2 Bir Ters-Kare Yasası 160
8.3 Ay'ın Merkezcil İvmesi 164
8.4 Nokta Kütleler İçin Kütleçekim Yasası 165
8.5 Büyük Cisimler İçin Kütleçekim 168
8.6 Eylemsizlik ve Kütleçekim Kütleleri 171
Yararlı Kaynaklar 173

9. Bazı Eski Soruları Yeniden Ziyaret 175
9.1 Newton'un Geometrik Kanıtlarının Bir Örneği 176
9.2 Kepler'in Birinci ve Üçüncü Yasaları 180
9.3 Küçük Sapmalar 189
9.4 Newton'dan Önce Okyanuslardaki Gelgitler 191
9.5 Dünya-Ay Sistemi ve Gelgitlerin Yarattığı Şişkinlikler 194
9.A Newton'un ve Young'ın Dalga Girişimi Üzerine Düşünceleri 198
Yararlı Kaynaklar 202

Bölüm IV 203

Bir bakış açısı 205

10. Galilei'nin *Büyük Düşes'e Mektup*'u 207
10.1 Arka Plan 207
10.2 Temel Bir Sorun 211
10.3 *Büyük Düşes'e Mektup* 215
10.4 Galilei ve VIII. Urban 219

10.5 Din ile Doğa Felsefesi Karşı Karşıya 223
10.A Galilei'nin *Büyük Düşes'e Mektubu* 225
Yararlı Kaynaklar 228

11. Boydan Boya Örten Newtoncu Çatı 229
11.1 Bir Devrim 229
11.2 Kapsamlı Bir Tutarlılık 233
11.3 Newton'un Öncesinde Uzay Üzerine Düşünceler 240
11.4 Newton'un Mutlak Uzayı 244
11.5 Fiziksel Uzaylara Karşı Matematiksel Uzaylar 248
Yararlı Kaynaklar 252

12. Bilime Dayalı bir Dünya Görüşü: Belirlenimcilik 255
12.1 Basit Yasalara Olan İnanç 256
12.2 Belirlenimciliğin Anlamı 261
12.3 Neden Otomatik Evren? 265
12.4 Yersiz Bir İyimserlik 270
12.5 Örnek Olarak İki Fonksiyon 273
Yararlı Kaynaklar 279

Notlar 283

Genel Referanslar 293

Dizin 295

Nimbilasha, Christine ve Patricia'ya

Çevirenin Önsözü

Bu kitap, yazarın Önsöz'ünde de görüleceği gibi, fizikteki bazı önemli kuramların ve yasaların gelişimini, bunların olgunlaştıkları dönemin tarihi ve felsefi iklimini göz önüne alarak anlatıyor. Bunu yaparken, dönemin sosyal ortamının ve çağın öne çıkan düşünsel akımlarının fiziğe olan etkisini de sunuyor. Kitap özgün olarak yirmi beş konudan oluşuyor. Ancak kitabı ülkemiz okuyucusuyla buluştururken, iki cilde ayırmanın daha uygun olacağını düşündük. Kitabın ilk yarısı, fizikte daha çok on sekizinci yüzyıla kadar geliştirilen kuramları ve bunların düşünsel etkilerini ele alırken, ikinci yarısı, özellikle bu yüzyılda öne çıkan görelilik kuramı ve kuantum mekaniği gibi çok daha modern kuramları ve bunların felsefeyle karşılıklı etkileşimlerini sunuyor.

Kitapta, sık sık doğrudan doğruya hem fiziğe hem de felsefeye önemli oranda etkide bulunmuş tarihsel kişiliklerin özgün yazılarından alıntılar yapılıyor. Bu kişilerin yazdıklarını yazıldıkları dilde okurken bile anlamak kolay olmadığından Türkçe'ye çevirmek de zor oldu. Alıntıların çevirisinde mümkün olduğunca özgün metnin anlamını birebir vermeye ve okurun özgün parçanın sunduğu 'zorlukları' hissetmesini sağlamaya çalıştık. Anlaşılırlık ile metine sadık kalmanın arasındaki dengeyi tutturduğumuzu umuyoruz.

Kitapta açıklanılmasının yararlı olacağını düşündüğümüz noktaların hemen ardından '(ç.n.)' ile belirtilen kısa notlar düştük. Kimi teknik terimlerin karşılığını, İngilizce asıllarının Türkçe okunuşlarına karşılık gelen sözcüklerle belirttik. Aristo, Öklit gibi bizde iyi bilinen kişilikleri isimlerinin Türkçe'de yer etmiş halleriyle yazarken, kimi isimleri de İngilizce'de yazıldıkları gibi tuttuk. Kitabın sonundaki Genel Referanslar'ın ve diğer kaynakların çoğu daha Türkçe'ye çevrilmemiş. Ayrıca elinizdeki kitabın kendi içinde tutarlı olması kaygısıyla ve bir takım teknik zorluklar nedeniyle, Yazar Dizini ile Bibliyografya kısımlarını kitabın ikinci cildine bıraktık.

Çeviride hata olmaması için olabildiğince titiz davrandık, ortaya çıkabilecek yanlışlıkların da önüne geçtiğimizi umuyoruz. Yardımlarından dolayı redaktörüm İlhami Buğdaycı'ya ve ümitsizlik anlarında beni cesaretlendiren aileme özellikle teşekkür ederim.

B. Özgür Sarıoğlu

Önsöz

Bu kitap, Notre Dame Üniversitesi'nde, güzel sanatlar, fen ve mühendislik öğrencilerine birkaç yıl verdiğim, üçüncü/dördüncü sınıf düzeyinde, bir dönemlik disiplinlerarası, seçmeli bir dersin notlarından yola çıkılarak yazıldı. Düşünsel açıdan öne çıkan bir takım seçme noktanın, fiziksel yasaların ve kuramların gelişimindeki belirli olaylar bağlamında incelenmesini sağlıyor. Bu, bazıları için rahatsız edici ancak yine de doyum verici olsa da, fen ve mühendislik bilimleri altyapısına sahip çoğu öğrencinin, aydınlatıcı olarak nitelediği bir uygulamadır. Açıklamanın önemli bir amacı, düşünsel olarak göz önünde tutulanların bilimin asıl uygulamasında oynadıkları temel ve göz ardı edilemez rolün okuyucunun zihnine kazınması olsa da, bilimin tarihine ve temel anlamına per se (ç.n.: kendi başına) felsefeden daha fazla yer ayrılmıştır. Bunun nedeni, anlamlı ve yararlı bilim felsefesinin yalnızca yeni anlayışlara giden, genellikle dolambaçlı tarihsel yol bağlamı içinde yapılabileceğine inanmamdır. Bunu başka bir şekilde belirtmenin yolu da, çok az bir bilim felsefesini sağlam bir zemine oturtmak için çok fazla bilim tarihinin gerektiğidir.

Önce, modern bilimin eski çağlardaki ve en başlardaki tarihinden gerekli zemin sunuluyor; ancak yirminci yüzyıl fiziğini önceki yüzyıllardakinden ayıran olayların, göreliliğin ve özellikle kuantum mekaniğinin temel anlamına ve bunların onlardan hemen önce gelen öncülerine özel vurgu yapılıyor. Bu, bilimin, ne tarihinin ne de felsefesinin sistemli bir açıklaması değil; fiziğin tarihindeki

ve felsefesindeki olayların ya da konuların bireysel, hatta belki de bazılarına göre fazlasıyla kişiye özel bir seçmesidir. Bilimdeki gelişmeler, oluştukları tarihi ve düşünsel zeminler göz önünde tutularak sunuluyor. Bazen 'yapı' terimi, kuramların geliştirildikleri yolları anlatmak için 'keşif'ten daha uygun düşermiş gibi görünebilir; dolayısıyla, özellikle de sonlardaki konularda, tarihi, düşünsel ve hatta sosyal etmenlerin bilimsel kuramların temel anlamına ve tam olarak biçimlerine olan etkileri sorunu ele alınıyor. Kuantum mekaniği de, bu konu için özellikle zengin bir malzeme kaynağı olarak karşımıza çıkıyor.

Okurun, klasik fizik konusunda giriş dersi düzeyinde bir yıllık bir ders aldığı ve temel bilgilere sahip olduğu varsayılıyor. Görelilik ve kuantum fiziği böyle okurlar için hâlâ yeni olacağından, kitabı hedef aldığı kitleye ulaşılabilir kılmak için, bu konular için zemin oluşturacak yeterli bilgi gerektiğince sağlanıyor. Kitabın dokuz önemli kısmının (ya da bölümünün) her birinin başında yer alan alıntılar ve konuların sonlarına konan ek materyaller, sunumun bütünlüğü için önemli parçalardır ve okunmaları gerekir. (Kitabın en son konusundan sonra yer alan Notlar kısmında bir araya getirilen) Dipnotlar, literatüre verilen atıfları ve bazen de ana metin üzerine, bazı durumlarda matematiksel ayrıntılar dahil olmak üzere açıklayıcı yorumları içerir. Bu nedenlerden ötürü, dipnotlarda sağlanan bilgileri dikkate almak önemlidir. Bu notlar içinde BK, Batı Dünyasının Büyük Kitapları (Robert M. Hutchins, (editör)) için bir kısaltmadır. Birkaç konunun içerisinde, metnin ana kısmını daha geniş bir okur kitlesine uygun kılmak için matematiksel ayrıntıların ayrıldığı bir "ekler" bölümü yer alır. (Kitabın tamamında geçerli temel bir kural, metinde ileri matematiğin özellikle yer almamasıdır.) Okurlar için özel ilgi konusu olabilecek noktalar üzerinde daha fazla çalışılmak istenmesi durumunda, yardımcı olmak amacıyla, her konunun sonunda ek kaynaklar verilmiştir. Dahası, kitabın sonuna doğru yer alan Genel Referanslar kısmında, tüm arka planı tamamlayıcı bilgiler için birçok eser kaynak olarak önerilmiştir. Bu kitapta atıfta bulunulan bütün

kaynaklar Dizin'den önce yer alan Bibliyografya kısmında bir arada listelenmiştir.

Bu kitap, fiziğe, tarihe ve felsefeye disiplinlerarası bir yaklaşımın önemini vurgulasa ve metinde bazı birinci kaynaktan materyaller kullanılsa da, burada bir 'burada anlatılanlardan dolayı sorumlu tutulamayız' türünden (bu bir çeşit 'reklam yaparken gerçekleri söylemek' olarak düşünülmeli) bir açıklama yapmalıyız. Bilim tarihi ve felsefesi konusunda hiçbir şekilde bir uzman değilim ve ağırlıklı olarak ikincil kaynaklara dayandım. Bilim adamı olmak üzere eğitim görmüş biri olarak, fen bilimleri öğrencilerinin temel bilimle felsefe arasındaki bağlantılar üzerindeki görüşlerini genişletmekle ve bunu yaparken de tanıdıkları haliyle fizik bağlamında bu bağlantıları irdelemekle ilgileniyorum. Okurun, daha ciddi tarihsel ve felsefi incelemelerde, daha ayrıntılı çalışmayı sürdürecek kadar, bu soruya derinden ilgi duyacak hale gelmesini umuyorum. Metindeki malzeme, bir derslikte ders olarak işlenmesi durumunda, öğrenciler açısından tartışmalar ve sonrasında ek olarak okunacaklar için bir temel olarak yararlı olur. Fizikçilerin folklor 'bilgisine' ve tarihe ve felsefeye olan çarpık bakış açısına esir düşmekten kaçınamadığım yerler mutlaka vardır. Yazı biçemi genellikle resmi olmaktan uzaktır, ayrıca gerekli olabilecek tüm nitelemelere ya da açıklamalara girmek metni okunamaz hale getirirdi. Gerçek tarihçiler ve bilim felsefecileri, eminim söylediklerimden bazıları nedeniyle hoşnutsuz olacaklardır. Kaçınılmaz olarak gözlerine çarpacak olan uygunsuzluklar için, yalnızca bu sayfalarda, şimdiden özür dileyebilirim ve genel bir okurun her şeye karşın değerli ve ilginç bir şeyler bulabileceğini umarım. Burada, Notre Dame'daki ve başka yerlerdeki, bu konulardaki cehaletimi geçen yıllar süresince oldukça azaltmama yardım eden meslektaşlarıma ve arkadaşlarıma teşekkür etmeliyim. Bilim felsefesine ve tarihine olan ilgimi, bundan yirmi yıl kadar önce, ilk kez Profesör Ernan McMullin kıvılcımladı ve bu nedenle ona teşekkür ederim - ancak 'öğrencisinin' yetersizlikleri nedeniyle herhangi bir şekilde sorumlu tutulamaz.

Profesör Ernan McMullin ile birlikte, Profesörler Samir K. Bose, Gerald L. Jones, William D. McGlinn, Stephen M. Fallon ve Robert E. Kennedy, el yazısı notlarımın bazı kısımlarını okuyacak kadar nazik davrandılar ve böylece beni bazı utanç verici durumlardan kurtardılar. Geriye kalan kusurlar yalnızca bana aittir.

Metnin baskıya girmezden önceki halinin redaksiyonundaki yardımları için özellikle Bayan Alisa N. Ellingson ve Dr Yuri V. Balashov'a, her ikisinin de metnin başlangıçtaki taslak halini okurken gösterdikleri olağanüstü özen için ve metin ile kaynakları azımsanamayacak kadar çok geliştiren son derece yararlı önerileri için gönülden teşekkür borçluyum. Çalışmaları, Notre Dame'daki Felsefe Bölümü ile Bilim Felsefesi ve Tarihi Programı tarafından desteklendi. Metindeki tüm teknik çizimlerden Bay Neal Nash sorumludur. Notre Dame Üniversitesi'ndeki Fizik Bölümü'ne ve Fen Bilimleri Yüksekokulu'na da - ve özellikle de Bölüm Başkanı Gerald L. Jones'a ve Dekan Francis J. Castellino'ya - yıllar boyunca fizikte ve felsefede disiplinlerarası dersler verebilme ve genellikle birbirinden tamamen farklı akademik alanların üst üste bindiği bölgede araştırma yapabilme özgürlüğünü sağladıkları için teşekkür ederim. Son olarak, eşim Nimbilasha, uzun yıllar boyunca bana sabır gösterdi, destek oldu ve beni yüreklendirdi, ki bunlar olmadan başlangıcı neredeyse iki on yıl öncesine giden bir projeyi tamamlamak mümkün olamazdı.

James T. Cushing

Bölüm I

Bilimsel girişim

Tümevarım içeren her türden çıkarım için, deneyimlerle uyumlu tümdengelimsel sonuçlar veren bir hipoteze rastlayana kadar, hipotezler icat etmeliyiz diye düşünüyorum. Böylesi bir uyum, seçilen hipotezi az çok olası kılar ve böylece gelecek deneyimimizin özelliklerini, doğa koşullarında keyfi değişiklikler olmadığı varsayımıyla, belli bir olabilirlik derecesinde çıkarabiliriz.

William Jevons, *Bilimin İlkeleri: Mantık ve Bilimsel Yöntem Üzerine Bir İnceleme*

Yalın mantıksal düşünme, bize ampirik dünya ile ilgili hiçbir bilgi veremez; gerçekliğin bütün bilgisi deneyimle başlar ve onunla biter. Gerçekliğin gözünde, yalnızca mantıksal yollarla ulaşılan önermeler tamamen değersizdir. Galilei (Galileo Galilei) bunu gördüğü, özellikle de bunu bilim dünyasına öğrettiği için, modern fiziğin - ve gerçekten tüm modern bilimin - babasıdır.

. . .

Kuramsal fiziğin bütün sistemi, kavramlardan, bu kavramlar için geçerli olduğu varsayılan temel yasalardan ve mantıksal tümdengelimle ulaşılacak sonuçlardan kuruludur. Farklı deneyimlerimizin karşılığı olması gerekenler işte bu sonuçlardır.

. . .

Sistemin yapısı aklın işidir; ampirik içerikler ve onların karşılıklı ilişkileri, temsillerini kuramın sonuçlarında bulmalıdır. Bütün bir sistemin, özellikle de onu oluşturan kavramların ve temel ilkelerin, haklılığı ve tek değeri böyle bir temsilin olası olmasında yatar... Bu kavramlar ve ilkeler insan aklının, öncesinde haklılığı açıklanamaz, özgür buluşlarıdır...

Albert Einstein, *Kuramsal Fiziğin Yöntemi Üzerine*

Bilim, kesin ya da kanıtlanmış bir ifadeler sistemi değildir; durmadan belli bir sona doğru ilerleyen bir sistem de değildir. Bilimimiz bilgi (*epistēmē*) değildir; hiçbir zaman gerçeğe ulaştığını ya da onun yerine geçtiğini, örneğin olasılıkla bile, öne süremez.

. . .

Bilmiyoruz: yalnızca tahmin edebiliriz.

. . .

Bilimin ilerlemesi, zaman içinde git gide daha fazla algısal deneyimlerin biriktiği gerçeği yüzünden değildir. Ya da duyularımızı daha iyi kullanabildiğimiz gerçeği yüzünden de değildir. Yorumlanmamış duyu deneyimlerini her ne kadar çalışkanca toplasak ve düzenlesek de, bilimin özünü bunlardan çıkaramayız. Cesur fikirler, kanıtlanmamış sezgiler ve kurgusal (spekülatif) düşünce, doğayı yorumlayabilmemizin tek yoludur; onu anlayabilmemiz için tek ilkemiz ve tek aracımız budur. Ve ödülümüzü kazanmak için bunları tehlikeye atmalıyız. Aramızda, fikirlerini çürütülme tehlikesine atmaya isteksiz davrananlar bilim oyununda oynamıyorlar.

Sir Karl Popper, *Bilimsel Buluşun Mantığı*

Duyu organlarımızın algıladıklarından, kuşaklar boyunca süregelen ortaklaşa ve birikerek artan yaratıcılığımızla, dış dünya hakkındaki sistematik kuramımızı geliştirdik. Kurduğumuz sistem, izleyen algısal girdileri öngörmekte başarılı olduğunu kanıtlıyor. Peki bunu nasıl becerdik?

. . .

Bilimsel olsun olmasın gözlem cümleleri, tamamen bu dünyayla ilgili olan dil ile gerçek dünya arasındaki bağlantılardır.

. . .

Geleneksel epistemoloji, dünya hakkındaki kuramlarımızı gerektirecek ya da en azından bu kuramlara küçük bir olasılıkla da olsa değer kazandıracak duyusal deneyimlerde zemin aradı. Sir Karl Popper ise öteden beri, gözlemin kuramı desteklemeye değil, tersine, yanlışlığını göstermeye yaradığını vurguladı.

. . .

Katıksız gözlem, öne sürülen bir kuramın gerektirdiği gözlemi kategorik olarak reddederek, yalnızca olumsuz kanıtlar sunar.

Willard Quine, *Gerçeğin Peşinde*

1

Bilmenin Yolları

Bilim ve işleyişi hakkında bir şeyler öğrenmeyi umduğumuz ve bilim kendini yalnızca belli bir çeşit bilgiyle ve onun elde edilmesiyle sınırlandırdığı için, bilgiye nasıl ulaştığımızı kısaca ele alarak başlayalım. Bilginin olağan bir çeşidi, bir fikre ya da bir başkasının otoritesinin kabulüne dayanır. Yaşamın pratik sorunlarını ve gereksinimlerini gidermekte kullandığımız günlük bilgilerin çoğu, bu iki yoldan biriyle kazanılmıştır. Bir kitabı okurken, öğrenilenlerin çoğu, sırf kağıda basılıp sunuldukları için doğru kabul edilir; bu arada umarım sizler bundan daha eleştirel olacaksınız. Dolayısıyla, herhangi bir önerme hakkında yalnızca bir fikrimiz olabilir ve sonra onu gerçek olarak kabul edebiliriz ya da 'Einstein der ki,' 'Aristo (Aristoteles) der ki' de olduğu gibi, bir başkasının otoritesine ya da 'Kutsal Kitap der ki' de olduğu gibi, yazılı bir eserin otoritesine başvurabiliriz ya da bir gerçeğin 'çok açık' olduğunu savunabiliriz. Şu örneğe bir bakalım:

> Tüm insanların eşit yaratıldığı, herkesin Yaradan tarafından vazgeçilmez belli haklarla donatıldığı, bu haklar arasında yaşam, özgürlük ve mutluluğu arama hakkının bulunduğu; bu hakları güvenceye almak için, gereken güçlerini yönetilenlerin olurundan alan kişiler arasından hükümetler kurulacağı; ne zaman herhangi bir hükümet bu amaç yolunda yıkıcı olmaya başlarsa o hükümeti değiştirme ya da ortadan kaldırma ve kendi

> güvenlikleri, mutlulukları konusunda en etkili olacağına inandıkları biçimde temelini atacakları ve buna uygun olarak gücünü düzenleyecekleri yeni bir hükümet kurma hakkının insanlarda bulunduğu gerçeğini, herhangi bir kanıt gerekmeksizin doğru kabul ederiz.[1]*

Thomas Jefferson (1743-1826) Bağımsızlık Bildirisi'ni yazarken, bu verilenlerin doğruluğunu göstermek için herhangi bir şekilde kanıt aramadı, ama bu noktadaki her türlü tartışmayı bunların herhangi bir kanıt gerekmeksizin doğru olduğunu öne sürerek geçiştirdi. Bu zarif bir söz oyunu olsa bile, tercihlerinize bağlı olarak, size belirtilenlerin doğruluğu hakkında sağlam bir temel öneriyor gibi gözükebilir ya da gözükmeyebilir.

1.1 Felsefe

Batı düşünce geleneğinde sıkça olduğu üzere, insan bilgisinin doğası hakkındaki en erken sistematik incelemelerin bazılarını, Batı kültürünün düşünsel temellerine son derece önemli katkılarda bulunmuş antik Yunanlılardan Socrates'in (~MÖ 470-399), Platon'un (MÖ 428/427-348/347) ve Aristo'nun (MÖ 384-322) eserlerinde buluruz. *Felsefe* sözcüğü, etimolojik köklerine bakıldığında, *φιλος* (filos) yani arkadaşça ya da sevgiyle ve *σοφια* (sofia) yani bilgi anlamındaki iki Yunanca sözcükten gelir. Sözcük, kökeninde, bilgeliğe olan sevgi, yeni deneyimleri arzulama ya da entelektüel kültür peşinde olma gibi kavramları da içeriyordu. Daha sonraları gerçekliğin ve insan doğasının disiplinli çalışmasını betimler oldu. Socrates, Atina ile Sparta arasındaki Peloponez Savaşı sırasında Atina'da yaşadı. Atina'nın Sparta'ya yenilmesinden sonra, 500 yurttaşlık Atina mahkemesi, Socrates'i dinsizlikten ve düşünsel sorgulamasının yönlendirmesiyle tanrıların varlığını yadsıyan gençlerin akıllarını bozduğu için suçlu buldu. Bu yüzden baldıran zehri içerek ölüme mahkum edildi. Kendisi bir şey yazmadığı halde, en

* Notlar sayfa 283'te, Genel Referanslar da sayfa 293'te bulunabilir.

ünlü öğrencisi Platon'un öğretileri sayesinde, Socrates'in diyaloglarından haberdarız. Seçkin bir Atina ailesinde doğan Platon, Atina'daki Akademi'yi MÖ 387'de kurdu. Bu, kimi yönleriyle modern bir üniversiteye karşı geliyordu. Platon'un tartışmasız en başarılı öğrencisi, bu başlangıç konularında sık sık karşılaşacağımız büyük yazar ve düşünür Aristo idi.

Platon yalın *fikiri bilim*den ayrı tuttu. Onun için bilim, insan bilgisinin idealiydi ve dolayısıyla doğru ve değişmezdi. Böylesi bir bilgi sistemine örnek olarak, daha sonra Öklit'in (Euclides) *Elementler*'inde (yaklaşık MÖ 300) anlatıldığı gibi, aksiyomatik geometriyi verebiliriz. *Republic*'te, Platon, ideal devleti ve onu yönetmeye uygun düşünür kralları anlattı. Bize bu düşünürlerin yalnızca görünürdekilerin değil, gerçekliğin ve doğrunun bilgisini arzulamaları gerektiğini anlatır. Ona göre doğru bilgi gerçek, sabit ve değişmez olmalıdır. Doğru bilgi eşsiz, değiştirilemez nesnelerden (*Form*lar) oluşmalıdır. Oysa inanç görüntülerle ilgilidir; bilgi şaşmazdır, öte yandan inanç doğru ya da yanlış olabilir. Platon, sürekli değişmesi yüzünden, duyu deneyimlerinin dünyasına güvenmedi ve değişmez formların yalnızca akılla ulaşılabilir dünyasının varlığını postüle etti. Onun anlayışına göre, bu formlar doğru gerçeklikti ve algıların dünyasından bağımsız olarak vardı. Deneyimler ve duyu verileri, bize bu formların yalnızca yaklaşık resmini verebilir. Örnek olarak, çember, doğru ve üçgen gibi matematiksel kavramların (özellikle düzlem geometrinin), yalnızca soyut olarak varolabileceklerini, bunlarla ilgili bilginin duyu deneyimleriyle kazanılamayacağını, çünkü gerçek çemberin, doğrunun ya da üçgenin duyu dünyasında varolamayacağını düşünüyordu. Matematiksel bir noktayı ya da doğruyu resmedemeyiz, çünkü bunlar bir kalemle çizildiklerinde az da olsa bir kalınlıkları olur. Bu, algıların dünyasının değişkenliği içerisinde değişmezleri aramaya Platon'un verdiği yanıttı.

Gerçi hem Platon hem de Aristo, gözlemcinin aklından bağımsız bir dış dünyanın varlığına inandıkları için realisttiler, aralarındaki farkı kısaca şöyle tanımlayabiliriz: Platon doğrudan duyu deneyiminden çok uzakta bir gerçeklik (ideaların ya da formların gerçekliği) postüle

etmişken Aristo öncelikli gerçekliği (doğaların ya da maddenin gerçekliği) duyu deneyimlerinin nesnelerine yüklemişti. Aristo, formun ve maddenin akıl yoluyla ayırt edilebileceğine, oysa aslında deneyimin gerçek dünyasında ayırt edilemeyeceklerine inanıyordu. Gerçek bilginin kazanılacağını öğretiyordu. Doğal eşyalar (ya da materyal) hakkındaki eserinin adı *Physica* (*Fizik*) idi; çünkü Yunanca sözcük *φυσικα* (fizika), 'doğal' (şeyler) için kullanılan sıfattan türemişti ve Aristo'nun kullandığı biçimde, doğa bilimi anlamına geliyordu. Bu bağlamda, bir zamanlar bilim adamları doğa düşünürleri olarak adlandırılmıştı. *Physica*'da, bize daha bilinebilir, apaçık şeylerden başlamamız gerektiğini ve gittikçe doğaları gereği daha açık ve daha bilinebilir olanlara doğru ilerlememizi söyler.

> Bir incelemenin nesneleri, herhangi bir kısmında, ilkelere, durumlara ya da unsurlara sahipse, bunlara olan aşinalığımızla bilgiye, daha doğrusu bilimsel bilgiye ulaşırız. Çünkü başlıca durumlarıyla ya da ilk ilkeleriyle tanışmadıkça ve çözümlememizi en basit unsurlarına kadar taşımadıkça herhangi bir şey bilmediğimizi düşünürüz. O halde ilk işimiz Doğa biliminde, çalışmanın başka dallarında olduğu gibi, ilkelerine neyin ilgili olduğunu belirlemektir.
>
> Bunu yapmanın doğal yolu bize daha bilinebilir ve açık şeylerden başlamamız ve gittikçe doğaları gereği daha açık ve daha bilinebilir olanlara doğru ilerlememizdir; çünkü aynı şeyler 'bize göreceli olarak daha bilinebilir' ve vasıfsız olarak 'bilinebilir' değildir. O halde eldeki incelemede bu yöntemi izlemeliyiz ve doğası gereği bulanık olandan, ama bize daha açık gelenden, doğal olarak daha da açık ve daha bilinebilire doğru ilerlemeliyiz.
>
> Böylece, ilk başta bize yalın ve açık gelen, unsurlarını ve ilkelerini daha sonra çözümleyerek öğrendiğimiz oldukça karmaşık bir yığındır.[2]

Aristo (baştan var olan formlarıyla) Platon'un tersine, öncesiz (ya da doğuştan) bilgi diye bir şeyin olamayacağını savunur. Aristo için her bilgi dış dünyadaki girdilerden ve sonunda bunlardan genelleyebileceğimiz, soyutlayabileceğimiz ya da tümleyebileceğimiz genel planlardan ve birleştirici ilkelerden başlamalıdır. Bu planlar ve ilkeler aklın hoşuna gider ve bizde belirli bir bilgi alanını ya da

bireysel duyu deneyimlerinin bir koleksiyonunu en sonunda anlamışız duygusu uyandırır.

1.2 Mantıksal Tümdengelim

Bir kere bu genel ilkeleri çıkardıktan sonra (ki daha sonra bunun nasıl yapıldığını ayrıntılı olarak tartışacağız), bunlardan başlayarak (tümden gelerek) başka sonuçlara mantıksal çıkarımlarla (yani geçerli muhakemelerle) ulaşabiliriz. *Tümdengelim* ile genelden özele, belli bir önermeden ya da önermeler kümesinden gereken sonuçlara ulaşmak için kullanılan düşün işlemlerini kastediyoruz. 'Tüm insanlar ölümlü ve Socrates de bir insan olduğuna göre, Socrates de ölümlü olmalıdır' cümlesi, tümdengelim için verilen standart bir örnektir. Silojizm (ç.n.: mantıkta iki önermeden bir sonuca varma işlemi), değişik formlarıyla mantıkta kullanılan en temel araçlardan biridir. Aristo, *silojizm* sözcüğünü, kimi zaman argüman ya da tartışma anlamında değiştirerek kullanır. Şu tanımı vermiştir: 'Silojizm, belli önermeler verildikten sonra, farklı bir önermenin, bu önermeler doğrultusunda, onları gerekli olarak izlediği tartışmadır.'[3] Daha kesin söylemek gerekirse, 'silojizm' teknik olarak iki önermeden bir sonuca varmada kullanılan tartışmanın biçimlendirilmiş formudur.

Genel silojizmlerin ve tümdengelimsel çıkarımların çok değişik biçimleri olmakla birlikte, biz burada yalnızca daha sonra çok işimize yarayacak olan '*varsayılan önermeler*' diye anılan biçimi ele alacağız. Bu cümleler, verilen *p* ve *q* önermeleri için '*p* ise *q*' şeklindedirler. Hoş bir örnek vermek gerekirse: 'İyi davranırsan sana bonbon şekeri vereceğim.' (Ya da, bir öğretmen öğrencisine şöyle diyebilir: 'Dersime çok çalışırsan, sana yıl sonunda A vereceğim.') Bu cümleyi bağlayıcı kabul edersek, iyi olursanız, haliyle, size söz verdiğim ödülü vermeliyim.[4] Şimdi bu ödül-ceza planının olası bazı sonuçlarına bakalım ve mantıksal olarak hangi çıkarımlarda bulunabileceğimizi görelim. Eğer iyi davranırsanız, daha önce söylendiği gibi, doğal olarak bonbon şekerinizi alacaksınız. Gerçekten bir bonbon şekeri aldığınızı düşünün. Bu gerçekten iyi davrandığınızı gösterir mi? Tabii ki hayır, çünkü iyi

olmasanız bile, size bir bonbon şekeri verebilirdim. Kullanılan cümle 'Ancak ve ancak iyi davranırsan sana bonbon şekeri vereceğim' değil, 'İyi davranırsan...'dı. Son olarak, gerçekten bonbon şekeri alamazsanız ne olacak? İyi davranmamış olmalısınız, çünkü iyi davransaydınız mutlaka bir bonbon şekeri alırdınız.

Bu varsayılan önermelerde, *eğer*le başlayan parçaya *öncül* ve *o halde* anlamında izleyen parçaya da *sonuç* diyoruz. Buradaki önemli nokta, öncül koşul sağlandığında, sonucun onu izleyeceği ve sonuç oluşmamışsa öncülün sağlanmamış olacağıdır. Yani sonucun değilini alırsak, öncülün de değilini almalıyız. Verilen bir argümanın yapısal çözümlemesini kolaylaştırması için bir kısaltma ya da sembolik gösterim kullanacağız. Önceden olduğu gibi, p ve q iki önerme olsun ve $\sim p$ (p değil) ve $\sim q$ (q değil) de değillerini belirtsin. Son olarak, $\Rightarrow$ sembolü 'gerekir' demek olsun. O halde 'p ise q' önermesini $p \Rightarrow q$ diye de belirtebiliriz. Sonucu değilleme, öncülü de değillemeyi gerektirir mantık kuralı da basitçe $\sim q \Rightarrow \sim p$ olur.

Bu sonuçları fiziksel kuramları çalışırken rastladığımız tipte argümanlarda uygulayalım. Şu cümlenin (bunu daha sonra 8. Konu'da ayrıntılı olarak inceleyeceğiz) baştan verildiğini kabul edin: 'Güneş'in çevresinde dönen bir gezegen için Newton'un kütleçekim yasası geçerliyse gezegenin yörüngesi bir elipstir.' Şu özdeşleştirmelerde bulunabiliriz: p - 'Güneş'in çevresinde dönen bir gezegen için Newton'un kütleçekim yasası geçerlidir' ve q - 'Gezegenin yörüngesi bir elipstir.' Önermenin kendisi $p \Rightarrow q$ olur. Peki ya dikkatli gözlemler gezegenin yörüngesinin tam olarak bir elips olmadığını gösterirse ne olur? Başka bir deyişle, diyelim ki $\sim q$'in doğruluğunu gösterdik. Sonucu değillediğimize göre, öncülü de değillemeliyiz. Yani $\sim p$ doğru olmalı: Newton'un kütleçekim yasası gezegen için geçerli değildir. Daha ileride göreceğimiz gibi, Newton'un kütleçekim yasasının Einstein'ın genel görelilik kuramı ile değiştirilmesinin nedenlerinden biri de, gezegenlerin yörüngelerinin gerçekten de eliptik şekilden az da olsa sapmalarıdır.

Yine de gezegenlerin yörüngelerinin (çok uzun bir süre boyunca sanıldığı gibi) elips olduklarını varsayın. Bu bize Newton'un kütleçekim

yasasının geçerliliğini gösterir mi? Tabii ki hayır, bir başka dış etken gezegenleri yörüngelerinde tutmaktan sorumlu olabilir; bir zamanlar bazılarının inandıkları gibi, "melekler kanatlarını çırparken gezegenlerin bir tarafına çarptırıyor olabilirler" diye komik bir şey söylenebilir. Son olarak, Newton'un kütleçekim yasasının doğru olmadığını biliyorsak ($\sim p$), bu gezegenlerin güneş çevresinde eliptik yörüngelerde dönmediğini ($\sim q$) gerektirir mi? Hayır, gerektirmez, doğru olduğu bilinen bir başka kuram eliptik yörüngeler hakkında aynı sonuca ulaşabilir.

Bu önemli sonuçları şöyle özetleyelim: Herhangi bir koşullu cümle (ya da varsayılan önerme) $p \Rightarrow q$ verildiğinde, $\sim q \Rightarrow \sim p$ de haliyle doğrudur, fakat $q \Rightarrow p$ ya da $\sim p \Rightarrow \sim q$ doğru değildir. Dikkat ederseniz, bir hipotezi kanıtlamakla geçersizliğini göstermek arasında önemli bir asimetri vardır. Bu genel mantık kurallarının bir uygulaması olarak, şu argümanın mantıksal geçerliliğini kendi kendinize tartışın: 'Doğa yasalarının basit ve nesnel olacağı inancına dayanan bilim, geçen birkaç yüzyılda son derece başarılı olduğu için, bugüne dek varsayılan doğa yasalarının doğru olduğu ve dışımızdaki nesnel gerçekliğin bir parçası olarak varolmaları gerektiği sonucuna varırız.' Verilen temel argümanın $p \Rightarrow q$ formuna sokulabilmesi için, p ve q önermelerinin belirlenmesini ve sonra da belirtilen sonuca varılabilmesinin geçerliliğinin incelemesini okuyucuya bırakıyoruz.

1.3 Kanıt Gerekmeksizin Doğru İlk İlkeler

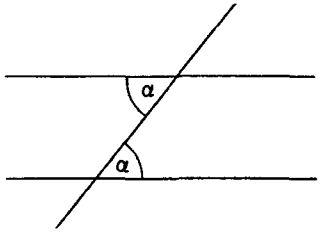
Şimdiye dek verilen bir cümleyle - ki bazen bunlara ilk ilkeler diyeceğiz - ondan indirgenebilen sonuçlar arasındaki mantıksal olarak geçerli ilişkilere dair yararlı birkaç kuralı verdik. Buradaki önemli nokta, bu verilenlerin (öncüllerin) doğru olduklarını nasıl belirleyeceğimiz sorusu. Bu noktada, çoğunlukla modern felsefenin babası kabul edilen Fransız matematikçi ve düşünür René Descartes'ın (1596-1650) yazdıklarını inceleyelim. Descartes, Fransa'nın kırsal bir yöresinde doğdu; babası Brittany bölgesinde avukat ve yargıçtı. İlk eğitimini (1604-1614) La Frèche'deki Royal College'da

(Kraliyet Koleji) Cizvitler'den aldı. Genç yaşta çalışmalarını ve araştırmalarını insan bilgisi için mutlak kesinlikte temeller kurmaya yöneltti. Çalışma yıllarının çoğunu Hollanda'da geçirdi. 1629'da, ancak ölümünden sonra yayınlanan, *Regulae (Aklın İdaresi İçin Kurallar)* adlı eserini yazdı. Matematiğin yönteminin bilime genellenebileceğini ve böylece mutlak kesinlikte bilgiye ulaşılabileceğini öne sürdü.

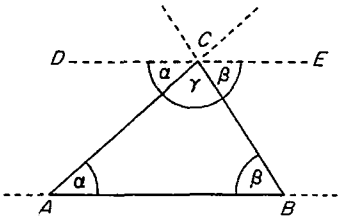
İlk ilkeler olarak kanıt gerekmeksizin doğru önermelerden başlamayı planlıyordu. Bilimin başlayacağı bu ilk ilkeler *sezgi*yle elde edilecekti. Descartes, sezgi ile açık ve disiplinli bir aklın kesin olarak göreceği gerçeklerin dolaysızca kavranmasını kastediyordu. Daha sonra geçerli sonuçlara ulaşmak için, bu mutlak surette kanıt gerekmeksizin doğru ilk ilkelere mantıksal tümdengelim uygulanacaktı. Her ikisi de açık gerçeklerle başlayıp, oradan tümdengelimle devam ettikleri için, Descartes'ın mutlak bilgi için uğraşı Aristo'nunkine benziyordu. Descartes için, sezgiyle kazanılan bilgi, tümdengelimle elde edilen bilgiden çok daha güvenliydi; çünkü sezgi çabuk ve daha kolaydır. *Regulae*'dan bu noktalar üzerine yapılmış birkaç alıntı, bu konunun sonundaki 1.A kısmında veriliyor.

Descartes, böylesi bir programda insan bilgisini arttırmak için şaşmaz yöntemler görüyordu:

> Bu basit kurallara harfiyen uyulursa, insan asla yanlış olanı doğru yerine koymaz ve zihinsel çabalarını boşa harcamaz; tersine bilgisini yavaş yavaş artırır ve sonunda gücünü aşmayan her şeyin özünü kavrar.[5]



Şekil 1.1 Üçüncü bir doğru tarafından kesilen paralel doğrular



Şekil 1.2 Üçgenin iç açıları teoremi

Descartes'ın aklındaki argüman tipine basit bir örnek olarak, bir doğrunun 180° bir açı taradığı gerçeğini ana tanım diye ve iki paralel doğru bir üçüncü tarafından kesildiğinde oluşan iç ters açıların eşit olduklarını da (Şekil 1.1'deki α açıları) bir aksiyom (ya da postülat) olarak aldığımızı varsayalım. (Bu özellik, Öklit'in "bir doğru üzerinde olmayan herhangi bir noktadan o doğruya paralel yalnız ve ancak bir doğru çizilebilir" diyen ünlü paralellik aksiyomundan da çıkartılabilir.) Şimdi bu tanımdan ve aksiyomdan, gayet iyi bilinen, düzlemde bir üçgenin iç açıları toplamının 180° olduğu sonucunu çıkartalım. Şekil 1.2'de *ABC* üçgeninin *AB* tabanına paralel *DE* doğrusunu çizdik. Şekil 1.1'de resmedilen özelliği kullanarak, *DCA* açısının α'ya, *ECB* açısının da β'ya eşit olduğunu görürüz. $\alpha + \beta + \gamma = 180°$ olduğuna göre, belirtilen sonucu elde ederiz.

Descartes, 'gün gibi açık' ilk ilkelerden gelen bu tip argümanları (ya da kanıtları) kendine model almıştı. Kanıt gerekmeksizin doğru aksiyomları ve mantıksal tümdengelimleriyle, Öklit geometrisi mutlak kesinlikte sonuçlara varmalıydı. Oysa, daha sonraki konularda göreceğimiz gibi, on dokuzuncu yüzyılda paralel doğrular aksiyomunun yanlış olduğu, Öklit-dışı geometriler inşa edilebilmişti. Descartes'ın modelindeki sorun, bize kanıt gerekmeksizin doğru gibi gözüken bazı ilkelerin gerçek dünyada aslında yanlış olabilecekleriydi. Yani, baştan paralel-doğrular aksiyomu kabul edilirse, üçgenin iç açıları toplamı hakkında belirtilen sonuç gerçekten geçerlidir. Bununla birlikte, matematikçiler Öklit geometrisine mantıksal alternatifler buldular. Düz doğrularla sınırlanmış üç kenarlı bir şeklin iç açılarının toplamının 180°'den az ya da çok olabildiği uzaylar vardır. Kürenin yüzeyinde çizilmiş bir üçgen

buna bir örnektir. Gözlem yapmadan, bu geometrilerin hangisinin gerçekte yaşadığımız uzaya ait olduğuna emin olamayız. Albert Einstein'ın (1879-1955) bize "gerçek dünyanın bilgisini yalnızca mantıksal düşünme veremez" demesi bu anlamdadır. (I. Bölüm'ün (*Bilimsel girişim*) alıntılarına bakınız.) Genel ve mantıksal olarak olası ilkelerin hangilerinin doğa tarafından kabul edildiğine karar vermek için sık sık duyu deneyimlerine başvurmalıyız. Her insan bilgisi hataya düşebilir. Descartes, fizik yasalarına olan bu hepten sezgisel, tümdengelimsel yaklaşımdan, daha sonraki çalışmalarında, örneğin *Yöntem Üzerine Konuşma* (1637), geri adım atmıştır. Doğa bilimlerinin genel ilkelerinin bu yolla gösterilebileceğine inanmayı sürdürdü, ama bilimin daha özel yasalarının çıkartılabilmesi için bunların duyu deneyimlerinden gelen veri ile birleştirilmesi gerektiğini kabul etti. Alternatif yasalar arasından birini seçebilmek için deneyler yapmak gerektiğini gördü. O zamandan beri kullanılagelen bilimsel yöntemin özü budur.

On dokuzuncu yüzyılın ortalarında, gökbilimci Sir John Herschel (1792-1871), sorunsuz gözlem verilerinden başlayan ve belli bilgiler elde etmek için tümdengelim kullanan, kolay ve güvenilir bir yöntemin varlığına inanıyordu:

> Atılacak öncelikli bir adım... aklın her türlü önyargıdan mutlaka temizlenmesi ve arındırılması... ve en başta eldeki olgulara doğrudan başvurarak çıkacaklara göre ayakta durmaya ya da düşmeye hazırlıklı olunması ve bunlardan sonra kesin mantıksal tümdengelim kullanılmasıdır.[6]

Descartes akla kanıt gerekmeksizin doğru ilkelerle, Herschel ise ampirik kanıtlarla işe koyulduğu halde, her biri bilgi için kuşku götürmez bir temele sahip olduğuna inanıyordu.

1.4 Rasyonalistler ve Ampiristler Karşı Karşıya

Düşünürler arasında aklın ya da deneyimin üzerinde durma konusundaki temel farklılık çağlar boyunca tekrar tekrar karşımıza çıkar. Descartes gibi *rasyonalistler* öncelikle aklı ve düşünmeyi bilginin

kaynağı olarak alırken, John Herschel (yukarıda örnek olarak verildi) ya da 3. Konu'da göreceğimiz David Hume (1711-1776) gibi *ampiristler* daha çok gözlemler ve deneylerle elde edilen deneyimi bilginin temeli olarak alırlar. İkinci yaklaşım bizi tümevarım problemine getirir. *Tümevarım* ile özelden genele, tekilden evrensele ulaşmak için kullanılan düşün işlemlerini kastediyoruz. Örnek olarak, geçmiş çağlarda var olmuş her insanın öldüğü gerçeğinden, şu anda yaşayanlar ve daha doğmamış olanlar dahil, tüm insanların ölümlü olduğu sonucuna ulaşabiliz. Özel durumlardan ya da gözlemlerden genel ilkelere nasıl gidileceği sorusunu bir sonraki konuda ele alacağız.

Bu tartışmayı, modern fiziğin öncülerinden ve ışığın kuantum kuramının kurucularından biri olan ve bu nedenle 1918 Nobel Fizik Ödülü'nü kazanan, kuramsal fizikçi Max Planck'ın (1858-1947) yazdıklarından bir alıntıyı ele alarak bitiriyoruz. Planck, Aristo gibi, doğa bilimlerinin nihai gelişmesinde çok önemli yer tutan duyu bilgisinin önceliğine vurguda bulunur. Bu, *Kesin Bilimlerin Anlamı ve Sınırları* adlı eserinden alınan aşağıdaki parçada yansıtılmaktadır.

> Gösterişli kesin bilim yapısı için her türlü eleştiriye dayanabilecek bir temel arıyorsak, ilk olarak isteklerimizi önemli ölçüde kısmalıyız. Bir tek uğurlu fikirle, kesin yöntemlerle eksiksiz bir bilimsel yapı geliştirmemize izin verecek, evrensel geçerliliği olan bir aksiyomu buluvermekle bir çırpıda başarıya ulaşmayı ummamalıyız. Başlangıçta, hiçbir kuşkuculuğun saldıramayacağı bir çeşit gerçeklik bulmak bizi tatmin etmeli. Başka bir deyişle, bakışlarımızı ne bilmek istediğimize değil, ilk olarak neleri kesinlikle bildiğimize dikmeliyiz.
>
> O halde, bildiğimiz ve birbirimize anlatabileceğimiz olgular arasında hangisinden mutlak surette eminiz, hangisi en küçük bir kuşkuya bile yer bırakmıyor? Bu soruya verilebilecek yalnızca tek bir yanıt var: 'Kendi bedenimizle tecrübe edebildiğimiz olgu.' Kesin bilim, dış dünyanın keşfine dayandığı için hemen şöyle devam edebiliriz: 'Yaşamda dış dünyadan doğrudan duyu organlarımızla, gözler, kulaklar, vb. edindiğimiz izlenimlerdir.' Bir şeyi görür, onu duyar ya da ona dokunursak, bunun herhangi bir kuşkucunun sorgulayamayacağı bir olgu olduğu açıktır.[7]

Planck burada bile, duyularımızla algıladıklarımızın güvenilirliğine çok fazla değer veriyor. Örneğin optik yanılsamaların birçok olağan çeşitlerinde görülen, duyularımızın beyne yolladığı uyarıları yanlış anlayabilmemiz dışında, gözlem ve deneylerden elde ettiğimiz verilerin yorumlanmasıyla ilgili çok daha ciddi bir sorunla karşı karşıyayız. Bilim tarihinde, çok ünlü ve yetenekli bilim adamlarının belli bir hipotezin öngörülerini, daha sonra bu öngörüler gerçekte olanlara karşılık gelmediği ve başka gözlemcilerce tekrarlanamadığı halde, gözlem ve deneylerle 'görüp', 'onayladıkları' birçok olay olmuştur. Örneğin, Uranüs gezegeninin kâşifi, John Herschel'in babası ve on sekizinci yüzyılın en ünlü gökbilimcisi Sir William Herschel (1738-1822), daha önce gökte süt parlaklığında yamacıklar gibi duran birçok bulutsunun (nebula) aslında teker teker yıldızlardan oluştuğunu, kendi inşa ettiği güçlü teleskoplarla göstermişti. 1780'lerin ortalarında, bütün bulutsuların teker teker yıldızlardan oluştuğunu ve dolayısıyla parlayan bir sıvıdan yapılmadıklarını öne sürdü. 1790'da, parlayan bir sıvı bulutuyla çevrilmiş merkezi bir yıldız diye tanımlamak zorunda kaldığı bir bulutsu gözlemledi. Buna karşın, aradaki zamanda, hem Orion hem de Andromeda bulutsularını teker teker yıldızlarına ayrıştırdığını öne sürdü. Oysa aslında, Orion yalnızca teker teker yıldızlardan değil, sürekli bir madde dağılımını da içeren gaz benzeri bir bulutken, Andromeda bir yıldızlar gökadasıdır.

Daha yakın zamanda, elektronun temel ve eksi elektrik yükün bölünmez birimi olduğunu gösteren gözlemleriyle 1923 yılı Nobel Fizik Ödülü'nü alan Amerikalı Robert Millikan (1868-1953) ile, çalışma arkadaşlarıyla birlikte Millikan'ın elektronundan çok daha küçük elektrik yüklerinin varlığını gösteriyormuş gibi görünen veriler elde eden Viyana'dan Felix Ehrenhaft (1879-1952) arasında uzun yıllar süren bir anlaşmazlık vardı.[8] Ehrenhaft'ın sonuçlarını yinelemek için başkalarınca yapılan sonraki denemeler başarısız kaldı ve böylece Millikan'ın görüşü kabul gördü. Görünüşe göre Ehrenhaft elindeki verileri, büyük olasılıkla elektrik yükünün sürekli olarak bölünebileceğine inandığı için, yanlış yorumlamıştı. Ehrenhaft'ın, deneylerinde olması gerektiği kadar dikkatli olmadığı

yolunda iddialar da vardı. Dikkat edilmesi gereken nokta, Herschel'in ya da Ehrenhaft'ın dürüst olup olmadıkları değildir. Dahası, özellikle Herschel'in durumunda, hiç kuşkusuz çok yetenekli bir gözlemci ve çok dikkatli çalışan bir kişi söz konusuydu. Güçlük, eldeki verilerin yorumlanmasında ve kişinin beklentilerinin bu yorumlamadaki etkisindeydi.

Planck'm duyu verilerinin önemi ve güvenilirliğiyle ilgili iddiasına karşı dikkat edilmesi gereken bu hususları belirttikten sonra, her şeye karşın bu verilerin, kuramlar gelip geçtikten sonra bile şöyle ya da böyle bozulmadan kalmalarının bilincinde olmalıyız. Bu davranış, yirminci yüzyılın ikinci çeyreğinde yazılmış bir ileri kuantum fiziği kitabının girişinde çok güzel bir biçimde gösterilmiştir. Kitabın kendisi, o zamanki kuramın açıklamaya çalıştığı fiziksel verilerin resimlerini içermektedir. Yazar büyük miktarda laboratuvar verisi sunuşunu açıklamak için şöyle der:

> Fotoğrafların, atom spektrumları hakkındaki herhangi bir kitabın son derece önemli bir özelliği oldukları, atomlar hakkındaki bütün kuram ve bilgilerde spektrum çizgilerinin her zaman aynı kalacakları belirtilerek irdelenebilir.[9]

1.5 Bilimsel Bilginin Konumu

Bu konuda ortaya koyduğumuz temel problem, bilimsel bilgi, yani gerçekten de fiziksel evrenle ilgili temel kuramlarımızın özünü oluşturan hipotezler ya da kabuller için sağlam bir temel oluşturmaktı. Tarih boyunca tekrar tekrar sezgiyle gözlem arasında böylesi bir temelin ana unsuru olmak konusunda bir gerginlik bulunduğunu gördük. I. Bölümün (*Bilimsel girişim*) başındaki alıntıların da gösterdiği gibi, bilimsel bir kuramı oluştururken, insan yaratıcılığı çok önemli ve kaçınılmaz bir rol oynuyor. Gözlediğimiz olayları açıklayan, başarılı, kapsamlı kuramlara ulaşabilmek için, saf mantıktan ve ampirik kanıtlardan daha fazlası gerekiyor. Daha sonraki konularda, sonunda bilimsel bilginin düzeltilebilirliği kavramına nasıl ulaştığımızı

göreceğiz. Bugün bulunduğumuz noktanın değerini anlayabilmek için, entelektüel açıdan nereden geldiğimizi ve bugünkü üstünlüğe nasıl ulaştığımızı bilmeliyiz.

Bunu yaparken, bugünkü bilgimizin ona ulaşırken izlediğimiz tarihsel sürece hassasiyetle bağlı olup olmadığını göz önüne almalıyız; yani, tarihsel rastlantıların fikirlerin evriminde nasıl (belki de canlı organizmaların evriminde olduğu kadar çok[10]) bir rol oynadığını düşünmeliyiz. Örneğin, baskın bir teknolojinin 'süreç bağımlılığı' iyi belgelenmiş ve bildik bir olgudur. Örnek olarak, video kaset kaydedicilerde (VCR) esas olarak, güçlü bir Japon video parçaları üreticisi grup VHS formatının pazarlamasını dayatmaya karar verdiği için, teknolojik olarak daha üstün Betamax formatını neredeyse evrensel olarak ortadan kaldırmıştır. Benzer şekilde, Apple MAC bilgisayarları daha iyi pazarlama stratejileri uygulayıp, çok daha baskın hale gelen IBM PC'lerden birçok bakımdan daha yenilikçi, daha üstün ve kullanımı daha kolaydır. Daha sıradan bir örnek, daktilo ve bilgisayar klavyelerindeki karakterlerin standart dizilişiyle ilgilidir. Bu tasarım, kökeninde daktilo kullanıcılarını yavaşlatmak (böylece daktiloların eski modellerinde mekanik parçalarda çıkan sıkışıklıkları önlemek) için çıkarılmıştı, ama karakterlerin daha verimli sıralanışları bilindiği halde hâlâ kullanılıyor. Baskın bir teknoloji bir defa yerini sağlama aldıktan sonra (bu büyük miktarda 'şans' etkenleriyle de olsa), onu yenilemek ve yerine yenisini koymak oldukça pahalı ve zordur. Burada 'en iyi' olan her zaman kazanmaz. Benzer şekilde, İngilizce, başka dillerden (Fransızca, Almanca ya da Japonca gibi) herhangi bir doğal üstünlüğü olduğundan değil, yalnızca büyük ulusların politik ve askeri tarihlerindeki tarihsel rastlantılar nedeniyle, uluslararası bilim ve iş toplantılarının neredeyse evrensel dili haline gelmiştir. Benzer şeyler bilimsel fikirler dünyasında da olabilir mi? Bilimsel yasalar ve kuramlar[11] dünyayı tanımlamanın olası yollarından yalnızca birinden başka bir şey değil midir, yoksa bize gerçeği mi verirler? Bu kitapta daha sonra sık sık döneceğimiz bu soruyu şimdilik yanıtsız bırakıyoruz.

1.A Descartes'ın *Regulae*'si

Descartes, *Regulae* adlı eserinde insanı kesin bilgiye götürecek kuralları sıralamıştı. Aşağıda bu eserden birkaç alıntı sunuyoruz.

2. Kural

Dikkatimizi yalnızca, haklarındaki emin ve şüphe götürmez bilgiye ulaşmada zihinsel gücümüzün uygun gözüktüğü nesnelere vermeliyiz.

Bilim bütününde doğrudur ve açık kavramadır... Yukarıda belirtilen ilkeye uygun olarak her tür yalnızca olası bilgiyi reddederiz ve yalnızca tamamen bilinen ve hakkında kuşku duyulamaz olana güvenmeyi kural koyarız.

. . .

Dolayısıyla, doğru düşünürsek, bu kurala uyulması halinde, elimizde bugüne kadar keşfedilmiş bilimlerden yalnızca Aritmetik ve Geometri kalır.

. . .

Ele aldıklarımızdan yalnızca bir sonuç çıkar, o da, elbette ki Aritmetik ve Geometri'nin çalışılacak yegâne bilimler oldukları değil, ancak gerçeğe giden doğru yolu arayışımızda, Aritmetik ve Geometri'nin gösterdiklerinde elde ettiğimize denk bir kesinliğe ulaşamayacağımız hiçbir nesneyle meşgul olmamamız gerektiğidir.

. . .

3. Kural

İncelemeyi düşündüğümüz konularda, araştırmalarımızı başkalarının ne düşündüklerine ya da kendi tahmin ettiklerimize değil, açıkça ve kolayca görebileceklerimize ve tümdengelerek kesinlikle çıkarabileceklerimize doğru yöneltmeliyiz: Çünkü bilgi başka türlü kazanılmaz.

. . .

Şimdi yalnızca iki tane zihinsel işlem kabul ediyorum, sezgi ve tümdengelim.

*Sezgi*den anladığım, duyuların değişen tanıklığı ya da hayal gücünün yarattığı eğreti yapıların yanlış yönlendiren hükümleri değil, bulanmamış ve dikkatli bir aklın bizi anladığımız şeyle ilgili her türlü kuşkudan tamamen

arındıracak kadar kolayca ve yalınlıkla verebileceği algılamadır. Ya da, sonuçta aynı şeye geliyor ama, sezgi, bulanmamış ve dikkatli bir aklın tartışmaya yer bırakmayan kavrayışıdır ve yalnızca aklın ışığından doğar; tümdengelimden daha kesindir, çünkü, yukarıda belirttiğimiz gibi, tümdengelim bizce hatalı yapılamayacağı halde, sezgi ondan daha kolaydır. Böylece her birey, zihinsel olarak var olduğu ve düşünebildiği gerçeğini sezebilir; bir üçgen üç doğru, küre tek bir yüzey tarafından sınırlanır ve böyle gider. İnsanların dikkatlerini çok basit sorunlara verip hor gördükleri bu çeşit gerçekler, sanıldığından çok daha fazla sayıdadır.

. . .

Sezgiye ait olan bu kanıt ve kesinlik, yalnızca önermelerin belirtilmesinde değil, her çeşit rasyonalist akıl yürütmede de gereklidir. Örneğin şu sonucu ele alın: 2 artı 2, 3 artı 1'le aynı şeye karşılık gelir. Şimdi sezgisel olarak yalnızca 2 artı 2'nin 4 ettiğini ve benzer şekilde 3 artı 1'in 4 ettiğini değil, dahası yukarıdaki çıkarımlardan üçüncüsünün gerekli sonuç olduğunu da görmek zorundayız.

Böylece şimdi, sezgi dışında, kesinlikle bilinen diğer olgulardan gerekli tüm çıkarımları anlayabilmemizi sağlayan bilmenin ikincil yöntemini, yani *tümdengelimi*, neden verdiğimiz sorusunu sorabilecek bir konumdayız. Ancak bundan kaçınamazdık, çünkü attığı her adımda açık bir görüşe sahip bir aklın, sürekli ve kesintisiz eylemlerle doğru ve bilinen ilkelerden yalnızca tümdengelerek çıkardığı, tek başına aşikâr olmayan, pek çok şey kesinlikle biliniyor. Uzun bir zincirdeki son halkanın ilkine bağlı olduğunu (bu bağlantı için gereken tüm ara halkaları tek ve aynı görüşle anlamasak da, yalnızca hepsini sırayla incelediğimizi ve en baştakinden sonuncusuna kadar her birinin komşusuyla birleştiğini hatırlasak) bilmemize benzer. Bu nedenle, bu zihinsel sezgiyi tümdengelimden, ilkinde bulunmayan ama ikincisinin algılanmasına katılan belli bir hareket ve sıralama olması nedeniyle ayırıyoruz. Dahası tümdengelim, sezgi işlemleri gibi hemencecik sunulan kanıtlar gereksinmez; kesinliği ona bir şekilde hafıza tarafından verilmiştir. Önemli olan nokta, ilk ilkelerden çabucak çıkartılan bu önermelerin, gerçekten de bazen sezgiyle, bazen tümdengelimle, bir başka deyişle bakış açımıza göre değişen bir yolla bilindiklerini söylemenin olası olduğudur. Fakat ilk ilkelerin kendileri yalnızca sezgiyle verilmişlerdir, tam tersine uzak sonuçlarsa yalnızca tümdengelimle elde edilmişlerdir.

Bu iki yöntem bilgiye giden en emin yollardır ve akıl başkalarını kabul etmemelidir. Geri kalanların tümü yanlışlık suçlusu ve tehlikeli oldukları gerekçesiyle reddedilmelidir.[12]

Yararlı Kaynaklar

Her konunun sonunda, yazıda söz edilen belli temaların daha da açıklandığı bazı kaynakların önerildiğini göreceksiniz. Okuyucu, (kitabın sonundaki *Notlar* kısmında toplanmış olan) konu dipnotlarının, *Yararlı Kaynaklar* kısımlarında tekrarlanmayan birçok ilgili kaynakça içerdiğinin de bilincinde olmalıdır. Dahası, kitabın sonundaki *Genel Referanslar* kısmı da sık sık yararlanılacak birçok kaynak eserin kısa tanımını içermektedir. Bunlar da genellikle *Yararlı Kaynaklar* altında tekrarlanmayacaklardır. İlgilenen okuyucunun bu önemli kaynakların varlığından haberdar olduğu ve gereksinim duydukça, bazen bunlara danışacağı kabul edilmektedir.

Philipp Frank'ın *Bilim Felsefesi*, bir fizikçi-düşünürün bakış açısından, bilimle felsefe arasındaki ilişki üzerine yararlı bir bakış sağlar. Ernan McMullin'in 'Platon ve Aristo'da Kozmik Düzen' adlı makalesi, izleyen konularda tartışacaklarımızın birçoğunun temelini oluşturan, evrene etkili bakış açısına yararlı bir rehberdir. Son olarak, Gerald Holton'ın *Bilimsel Hayal Gücü* bilim tarihindeki kimi olayları (bu konuda söz edilen Millikan-Ehrenhaft çekişmesi dahil) ayrıntılarıyla inceleyen değerli çalışmalar içerir.

2

Aristo ve Francis Bacon

Gerçeklik olguları hakkında genel sonuçlara varmanın iki farklı yolunu özel örneklerle karşılaştırabilmek için, Aristo'nun eserlerini Sir Francis Bacon'ınkilerle (1561-1626) kıyaslıyoruz. Göreceğimiz gibi, aradaki fark, ilkeden çok vurguda ve uygulamadadır. Aristo, doğanın sezgisel kavranışını temel alarak varılabilen genel ilkelerin tartışılmasını tercih ederken, Bacon özel durumlardan geliştirilen yavaş ve dikkatli tümevarımın önemini vurgular.

2.1 Aristo

Aristo, MÖ 384'de Ege'nin kuzey kıyılarında, Makedonya'nın Kalkidikya Yarımadası'ndaki bir Yunan sömürge kasabası olan Stagira'da doğdu. Babası Nicomachus (ölümü MÖ 374), Büyük İskender'in (MÖ 356-323) büyükbabası Makedonyalı II. Amyntas'ın (ölümü MÖ 370/369) hekimiydi. Aristo, MÖ 367'de, on yedi yaşında Atina'ya gitti ve Platon'un Akademi'sinde öğrenci olarak çalışmalarına başladı. Platon o zamanlar altmış yaşlarındaydı. Aristo'nun yaşamı doğal olarak üç ana döneme ayrılır. Platon'un ölümüne (MÖ 348/347) kadar Akademi'de yirmi yıl geçirdi. Atina'daki yaygın Makedon karşıtı hava, bu kenti bırakmasının ve sonraki on iki yıl boyunca seyahat etmesinin nedenlerinden olabilir. Bu ikinci dönemde MÖ 342'de kral II. Philip'in (MÖ 382-336) oğlu

İskender'i eğitmesini rica etmesi üzerine Makedonya'ya gitti. İskender on üç yaşından on altı yaşına kadar Aristo tarafından eğitildi. Daha sonra İskender, babasının sorumluluklarını daha fazla paylaşmaya başladı ve Aristo'nun derslerine gereksinimi ve ona ayırabileceği zaman azaldı. İskender MÖ 336'da Philip'in suikastından sonra tahta çıktı ve artık bir bilge öğretmene gereksinimi kalmadı. Artık Aristo'yu Makedonya'da tutacak fazla birşey kalmamıştı.

Aristo'nun yaşamındaki üçüncü dönem MÖ 335'te Atina'ya, kent İskender'in Makedonya'sının egemenliğine geçtikten sonra dönmesiyle başladı. Sonraki on iki yılda, Aristo, Atina dışındaki Lyceum'da Peripatetik Okul'u (ç.n.: peripatetik aslında gezgin ya da yaya demektir; Aristo derslerini yürüyüşleri sırasında verdiği için okul böyle anılmaktadır.) yönetti. Bu kurum modern bir üniversiteyi andırıyordu ve bugün elimizde bulunan halleriyle Aristo'nun tamamlanmış eserlerinin çoğu Lyceum'da verdiği dersler olarak onun (ya da öğrencileri, meslektaşları) tarafından yazıya dökülmüştü. Bir düşünce adamı ve öğretmen olarak Aristo, kendini bir filozof, psikolog, mantıkçı, ahlakçı, politik düşünür ve edebiyatta eleştirinin kurucusu olarak gösterdi. Büyük İskender MÖ 323'te otuz üç yaşında ölünce, Makedon egemenliğine olan kızgınlık ve Aristo'nun Makedon geçmişi, düşünüre Atina'da yaşamı çekilmez kıldı. Bu sırada, yirmi yıl önce İskender'in yakınlarından biri için söylediği ağıt nedeniyle, dinsizlik suçlamasıyla karşı karşıya kaldı. Aristo kendinden önce orada Socrates'in başına gelenleri anımsadı ve Atinalıların felsefeyi ikinci defa rencide etmelerine izin vermeyeceğini söyleyerek kenti terk etti.[1] Annesinin memleketi Eğriboz'daki (Euboea) İyon kenti Khalkis'e (Chalcis) gönüllü sürgüne gitti. Birkaç ay sonra MÖ 322'de orada öldü.

2.2 Gözlem ve Deney Karşı Karşıya

1. Konu'da, Aristo'nun *Fizik* adlı eserinde, duyu deneyimleriyle ya da gerçek dünyadan verilerle başlamanın gereğini ve buradan genel yasalara ya da kurallara geçmenin önemini vurguladığını görmüştük. Onun için, algılanabilir dünya hakkındaki her genel sorunun

incelemesinde her zaman deneyimleri içeren bir parça olmalıdır. Aristo'nun yöntemiyle ilgili somut bir örneği, bir sonraki kısımda, onun hareket hakkındaki görüşlerini incelerken göreceğiz. Daha sonraki çağlarda Aristo, özel durumların ön incelemesinden her şeyi içeren genel sonuçlara geçebilmesi özelliği dolayısıyla eleştirilmiştir. Şimdi, ilk Yunanlıların bazılarında bulunan, *gözlem*in iyi taraflarını, büyük oranda daha sonraki çağlara ait olan *deney*den ayırıyoruz. Gözlemde doğanın duyulara sunduğu olgular dikkatli bir şekilde izlenir ve kayda geçilir. (Örneğin günlük hayatta insanlara bakıp, nasıl davrandıklarını, nelerden motive olduklarını ve onları nelerin mutlu ettiğini izlemek gözlemlerdir.) Deneyde, doğada yeni ya da kontrollü durumlar yaratılır ve doğadan bir karşılık alınır. (Örneğin insanları ya da hayvanları doğal çevrelerinden ayırıp, özel ve dikkatli kontrol edilen olumlu ya da olumsuz uyarıcılara karşı tepkilerini çalışmak deneydir).

İlk Yunanlılardan bazılarının dikkatli gözlemciler olduklarını söylerken, vardıkları sonuçların her alanda eşit derecede güvenilir olmaları gerektiği sonucuna varmak istemiyoruz. Aristo'nun etik üzerine ve hatta biyoloji konusundaki eserleri, sonraki dikkatli incelemelere dayanmıştır ve bunların kimi kısımları günümüzde de hâlâ geçerliliklerini koruyor. Oysa kimileri, örneğin (sonra göreceğimiz) serbest düşme ve eğik atış konularındaki gibi, çok yetersizdirler. Aristo, diğer bazı antik Yunan düşünürleri gibi, çok iyi bir gözlem gücüne sahipti ve bu güçle iç içe geçmiş bir şekilde evrensel kurgular yapmaya fazla düşkündü. Sınırlı, kolayca üstesinden gelinebilecek problemler yerine, sık sık çok büyük sorularla uğraşır ve bunlara çözümler önerirdi. (Gerçi, kariyerinin sonlarına doğru, bilgiye özünde kurgusal yaklaşımdan çok, daha tümevarımcı şekilde yaklaştığına ilişkin belirtiler vardır.) Bizim için en belirgin, en acil ve anlamlı soruların, şanssızca ya da tam tersi şekilde, çok karmaşık ve 'nihai' oldukları bir gerçektir. Yunanlılar ve o zamanlardan beri Batı geleneğindeki birçok düşünür, çoğunlukla büyük söyleşi (*Büyük Kitaplar*'daki yazılar) denilen şeye katılagelmişlerdir. Bunun büyük kısmı, bu zor sorulara yanıtlar bulmak için yapılan başarısız girişimler ve bu soruları

yeni ifadelerle yeniden sormaktan oluşan bir görkemli tasarılar yapısı diye nitelenebilir. Bu girişimlerin çoğu başarısız oldu derken, istenen kesin ve son yanıtları sağlayamadıklarını anlatmak istiyoruz; yine de bunlar süregelen bir tartışmaya ve umulduğu üzere ilerlemeye yol açmışlardır.

2.3 Bir Organizma Olarak Evren

Büyük bir aklın öğretilerinde doruğa çıkan düşüncenin gelişimine bir örnek olarak, Aristo tarafından en eksiksiz ve açık şekilde ifade edilen fiziksel evren hakkındaki klasik Yunan görüşünü ele alalım. Homer'in (MÖ 850 civarı) *İlyada* ve *Odysseia* destanlarında anlatılan erken Yunan dünyası büyük küçük tanrılarla doludur. Bunlar fiziksel evrenin işlerliğinden doğrudan sorumludur (örneğin Aeolus rüzgâr tanrısı, Poseidon deniz tanrısı, Demeter verimli toprak ve tarım tanrıçasıdır). İnsanların kaderini de tanrılar belirliyordur (örneğin Ares, Roma mitolojisinde Mars, savaş tanrısıdır; Fates diye bilinen üç tanrıçalar: Clotho hayatın ipini eğirir, Lachesis boyunu belirler ve Atropos da keser). Yunan tanrıları kaypak ve sık sık da acımasız oldukları için, doğa eski Yunanlılara kaprisli ve kontrollerinin ya da anlayışlarının dışında gözükmüştür. Thales (MÖ ~624–~546), Anaksimandros (MÖ 610–546/545) ve Anaksimenes (MÖ ~545) gibi, evrendeki her şeyin yapıldığı bir tek (ya da belki de yalnızca birkaç) daimi element bulunduğuna inanan İyonyalı düşünürlerle bir değişim başlamıştır. Fiziksel evrendeki şeylerin aşağı yukarı kişileştirilmemiş etkileşimini sunmuşlardır. Fakat doğayı katı mekanikçi yorumuyla bilinen Democritus (MÖ ~460–~370) bile hâlâ organik dünyayla benzerlikler kullanmıştır. Bu düşünürlere 12. Konu'da döneceğiz, ancak burada anlatmaya çalıştığımız, fiziksel dünyaya kişisellikten uzak ve mekanikçi bakışa doğru gelişen bir Yunan düşünce ekolü olduğudur.

Yine de Socrates bu mekanikçi felsefelere karşı çok ağır konuşmuştur. Öğretileri, bize öğrencisi Platon'un yazdıkları aracılığıyla geçmiştir. Platon'un *Phaedo*'sunda, öğrencilerinden bir grup, Socrates ölüme mahkum edildikten sonra onu hapiste ziyarete gider.

Bundan sonraki diyalog, arkadaşlarının önünde baldıran zehrini içmeden önceki son diyalogudur. Bunda Socrates, insanı, ruhu ve ölümsüzlüğü tartışır. İnsanın gereksinimlerini ve amaçlarını sağlayacak bir bilim arar. Ona ve öğrencisi Platon'a göre, bu amaç için mekanikçi görüşler yetersiz kalmıştır ve insanı doğadan, doğayı da iyinin ve güzelin dünyasından ayırdıkları için reddedilmelidirler. *Timaeus*'unda Platon, evrenin işleyişi ve içindeki yaratıklar hakkındaki bilimsel görüşü diyebileceğimiz fikirlerini sunar ve 'Dünya'nın, Tanrı'nın inayeti ile, ruh ve akıl bahşedilmiş gerçekten yaşayan bir varlık olduğunu' belirtir.[2] Platon mekanikçi felsefelerin canlı dünya için verdiği, cansız varlıkların işleyişiyle tamamen rastlantıların ürünü açıklamasını çok itici buldu. (Bu soruya modern bakış açısından 12. ve 25. konularda döneceğiz.)

Fizik ve *De Caelo* (*Gökler Üzerine*) adlı incelemelerinde Aristo, evren üzerine, on altıncı yüzyıla dek Batı düşüncesine egemen olan, *organizmacı* görüşlerini sundu. Burada 'organizmacı' ile yalnızca Aristo'nun cansız varlıkların davranışını canlı organizmalarla benzerlikler kurarak anlatmaya çalıştığını söylemek istiyoruz. Bu terimi kullanırken, Aristo'nun cansız nesneleri canlılar gibi gördüğünü değil, onun için cansızların canlılar gibi belirli bir amaca yönelmiş göründüklerini ima ediyoruz. Her nesne kendi doğasına, eğilimine ya da amacına sahipti. Böylece, ateş gibi hafif bir elementin yukarı, toprak gibi ağır bir elementin de aşağı gitmesi, doğaları gereğiydi. Bunlar onların doğal hareketleriydi. Evrenin merkezini aramak toprağın doğası olduğuna göre, Dünya'nın merkezi aynı zamanda evrenin de merkezindeydi ve şekli küre olmalıydı. Dünya'nın bütün parçaları çeşitli yönlerden evrenin merkezine düşmeye çalıştıkları için, en sonunda birbirleri üzerine yığılmalı ve küre şeklinde bir cisim oluşturmalıydılar. Benzer şekilde, bir daire değişmez (ve dolayısıyla, muhtemelen ebedi) kabul edildiği, gökler ve elementi, eter de değişmez görüldüğü için, gök cisimlerinin (örneğin yıldızların) doğal hareketi dairesel hareket alınıyordu. Toprağın dünyasında değişim ve bozulma açık olgular oldukları için, toprağa göklerden apayrı bir doğa atanmıştı. Yerküreye ait elementlerin

(toprak, hava, ateş, su) doğal hareketi doğrusal hareketti (örneğin ateş için düz yukarı ve toprak için düz aşağı). Gökleri yönetenlerle yeryüzünde geçerli yasalar arasındaki bu temel ayrılık, Galileo Galilei'nin (1564–1642) zamanına kadar kaldı. (Bölüm III'ün (*Newton evreni*) alıntılarına bakınız.) Doğal olmayan her hareket sert ya da zorlama hareketti ve onu gerçekleştirmek için bir dış etkenin sürekli etkisine gerek vardı.

Aristo'nun sisteminde evren küreseldi, merkezinde Dünya vardı ve diğer gezegenler sırayla izleyen katmanları dolduruyorlardı. Bu küresel kabuklar (ayın yörüngesinden dışa doğru) beşinci bir elementten, yani eterden oluşuyordu. Onun evreni sonluydu ve en dıştaki kürenin en uzak kenarının ötesinde başka bir şey yoktu. Ay'ın iç tarafında kalan, Dünya'yı da içeren bölge dört elementten oluşmuştu: ateş, hava, su ve toprak. Ateş ve toprak en 'uçtayken' (en yüksekte ve en aşağıda), hava ve su 'aradaydılar' (uçtakilerin arasındaki bölgedeydiler). Her elementin kendine ait doğal yeri vardı ve bir kez kendi yerindeyken durağandı. Değişim ve oluşum fikri çok önemliydi: Potansiyelin gerçekliğe dönüşmesi; bu Aristo'nun fiziksel nesnelerin hareketini anlayışına da uzanıyordu. Bir element, yalnızca kendi doğal yerinde tamamen gerçekti ve her şey kendi doğası için iyi olana doğru yöneliyordu. Bu planda kendi kendine olan, nedensiz hareket yoktu, çünkü her hareket için bir etkene gerek vardı. Topraktan oluşmuş bir cismin ağırlığının güdüsel etkinliği, cisim doğal yerine yaklaştıkça artıyordu. (Hafiflik de benzer şekilde ateş için gerekli ilkeydi.) Aşağıda daha ayrıntılı olarak göreceğimiz gibi, gerçek boşluk orada doğal hareket olamayacağı için olanaksızdı. Bir ortam hem harekete bir neden oluşturuyordu hem de ona karşı direnç gösteriyordu.

Aristo'nun fiziksel evreni açıklamasında son nedenler çok önemli bir rol oynuyordu. Onunki birleşik, herşeyi kapsayan bütün bir dünya görüşüydü. Canlı varlıklar bir sona ya da bir amaca doğru davranıyormuş ya da yönlendiriliyormuş gibi göründükleri için, Aristo cansız nesnelerin davranışını son nedenlerle (ya da nesnenin doğası gereği ulaşmaya çalıştığı sona ya da amaca göre) açıklamaya çalıştı.

> Her basit cismin doğal bir hareketi olması gerektiği aşağıdaki gibi gösterilebilir. Açık bir şekilde hareket ederler ve eğer uygun hareketleri yoksa zorlandıkları için hareket ederler ve zorlanan doğal olmayanla aynı şeydir. Şimdi doğal olmayan bir hareket, karşı çıktığı doğal bir hareketin varlığını gerektirir ve doğal olmayanlar ne kadar çok olursa olsun doğal olan her zaman bir tanedir. Çünkü doğal olarak bir şey, doğal olmayan hareketleri çeşit çeşitken, bir şekilde hareket eder. Aynısı dinginliğin davranışından da gösterilebilir. Dinginlik de ya zorlamadır ya da doğaldır, hareketin zorlandığı yerde zorlama doğal olduğu yerde de doğaldır. Şimdi merkezde dingin bir cismin olduğu açıktır. O halde eğer bu dinginlik onun için doğalsa, açıktır ki bu yere hareket de onun için doğaldır.
>
> . . .
>
> Fakat 'doğa' bir şeyin kendi içinde hareket kaynağı demek olduğu, kuvvetse o şeyden başka bir şeyin içinde ya da başkaları *gibi* kendi içinde hareket kaynağı olduğu için ve hareket her zaman doğa ya da bir zorlama yüzünden olduğu için, (aşağı hareketin bir taş için olduğu gibi) doğal olan hareket dış bir kuvvet tarafından yalnızca ivmelenecek, oysa doğal olmayan bir hareket yalnızca kuvvet yüzünden olacaktır.[3]

Aristo'nun kimi yorumcuları bunu "Dünya'nın (ve evrenin) merkezine yakın olmaya çalışan ağır bir nesne, doğal olarak aşağı doğru düşer ve eğilimi ya da itkisi (ve dolayısıyla hızı) amacına yaklaştıkça artar" diye açıklayarak nitelendirdiler. Canlı organizmaların belirli bir son için ya da belli bir hedef için davranmalarıyla kendini gösteren bu davranışın bir amacının olması durumuna *teleonomi* (Yunanca "amaç" ya da "hedef" anlamında *telos* ve "yasa" anlamında *nomos* sözcüklerinden) ya da "teleonomi ilkesi" denir. Teleonomi kavramını göstermek için, bu benzerliği kullanırken yalnızca canlı varlıkların bir hedef peşinde olabileceklerini söylemiyoruz. Böyle organizmacı ya da teleonomik bakış açısı, gerçekte fiziksel evren hakkındaki anlayışımızı geliştirmekte yararlı olmadığını sonunda gösterdi.

Aristo'nun fizik konusundaki görüşleri sık sık Rönesans'a kadar onu izleyenlerin düşüncelerini aslında dondurmuştur diye gösterilir. 6. Konu'da bunun evrensel olarak doğru olmadığını belirteceğiz, çünkü hem eski çağlarda hem de Orta Çağ'da hareket konusunda Aristo'dan farklı düşünen önemli düşünürler vardı. Yine de birçokları

eserlerini dogma gibi kabul etmiştir. Ondan sonra sorular, gerçeklikle ilgili olanlar bile, gözlem yapmak yerine, onun ilkelerine başvurularak çözümlenmiştir. Bu önsel (a priori)[4] düşünce şekli, öncellerin sorgulanmalarına ve dolayısıyla kolayca değiştirilmelerine izin vermez. Göreceğimiz gibi, bugün bildiğimiz haliyle bilimin yükselişi, doğaya organizmacı bakıştan mekanikçi bakışa geçilmesiyle belirginleşmiştir.

2.4 Aristo'nun Hareket Üzerine Düşünceleri

Şimdi Aristo'nun cisimlerin hareketleri üzerine öğretilerini özetleyeceğiz ve her zamanki gibi doğrudan alıntıların birçoğunu konu sonuna bırakacağız. *Gökler Üzerine*'de Aristo, cisimlerin doğal hareketlerinin ağırlıkla (ya da hafiflikle) sağlandığını ve verilen bir cismin belirli bir zamanda alacağı yolun cismin ağırlığıyla arttığını söyler. Bu konuda *Fizik*'te şöyle der:

> Ağırlık ya da hafiflik itkisi daha fazla olan cisimlerin, başka bakımlardan özdeşseler, eşit bir aralıkta, bunların büyüklüklerinin birbirine oranı kadar daha hızlı hareket edeceklerini görüyoruz.[5]

Bu sık sık, Aristo'ya göre "daha ağır cisimler daha az ağır olanlardan, ağırlıklarının oranına bağlı olarak, daha hızlı düşerler" diye söylenerek özetlenir. Fakat Aristo'nun kullandığı bazı terimlerin ona göre bugün bizim için olanla aynı teknik anlama gelemeyebileceğinin farkında olmak önemlidir. Başka bir çağdan bir yazarın ne demek istediğini anlamak için, kendimizi onun yerine koyup, düşünce şeklini anlamaya çalışmalıyız. Bir cismin ağırlığını onun (örneğin sıradan bir teraziyle ölçülebilir) 'ağırlığı' diye ve yerkürenin yüzeyine yakın aslında (cismin kendine özgü kütlesiyle orantılı) bir sabit diye düşünürüz. Görünüşe göre Aristo için bir cismin düşüş hızı, ağırlığının bir ölçüsüydü. Bu açıdan bakınca, bir cismin ağırlığı, cisim hareket ettikçe değişebilir fikri anlaşılabilir. Aristo'nun kastettiği, bizim modern anlık hız kavramı yerine, (hareket boyunca katedilen yola

göre) ortalama hız da olabilir.[6] Hareket kuramı ya da tanımlaması büyük ölçüde nitelikseldi ya da en iyi haliyle yarı nitelikseldi ve göreceğimiz gibi, niceliksel olarak çok ileriye götürülmesi olanaksızdı. Bunların hiçbiri Aristo'nun hareket anlayışında ciddi yetersizlikler olduğunu yadsımak için değil, yalnızca açıkça tutarsız ve tamamen değersiz olamayacağını belirtmek için söylendi.

Bir cisim için uygun doğal hareket, içindeki dört temel elementin oranıyla belirleniyordu. (Dolayısıyla büyük oranda toprak elementinden oluşmuş bir cisim, içinde daha çok ateş elementi bulunan bir cisme göre daha büyük bir düşme hızına sahip olacaktır.) Topraktan oluşan bir cisim, doğal yerine (Dünya'nın ve evrenin merkezine) yaklaştıkça daha hızlı hareket edecekti.[7] Böylece (Aristo'ya göre) cismin ağırlığı (ve dolayısıyla hızı da) hareket ettikçe artabilirdi. Yukarıda alıntı yapılan özgün Yunanca metnin hiçbir yerinde Aristo, düşmek fiilini kullanmaz, böylece metinde serbest düşüşteki dikey hareket hakkında konuşmak zorunda kalmaz.[8] Her neyse, Orta Çağ boyunca ve Rönesans'a kadar, genel olarak öğretisinin bir cismin düşüş hızının ağırlığıyla (ya da bize göre 'ağırlığı'na) orantılı olduğunu belirttiğine inanıldı. Bunun bir nedeni, klasik Yunan dönemine ait birçok fikrin, Rönesans öncesi Avrupalılara Romalı yazarların Latince yazdıkları eserlerle gelmiş olması olabilir. Romalı şair ve düşünür Lucretius (MÖ ~96–~55) *De Rerum Natura* (*Evrenin Doğası Üzerine*) adlı eserinde şöyle der:

> Nesneler suda ve havada düşerlerken, inişlerini ağırlıklarına orantılı olarak hızlandırırlar; çünkü suyun kütlesi ve havanın belirsiz doğası herşeyi eşit derecede yavaşlatamazlar, daha ağır olanın gücüne yenilerek daha kolay yol verirler. Öte yandan, boşluk hiçbir zaman hiçbir şeye hiçbir yönde direnç gösteremez, doğası gereği sürekli olarak yol vermelidir ve bu yüzden herşey, ağırlıkları farklı bile olsa, dirençsiz boşluk içinde eşit hızla hareket etmeli ve taşınmalıdır.[9]

Lucretius'un 'düşmek' fiilini kullandığına dikkat ediniz, Rönesans döneminin, Aristo'nun da aynı şekilde düşmek fiilini kullandığı inancını bu açıklayabilir.

Aristo (örneğin su ya da hava gibi) bir ortamdaki doğal hareketi tartışırken, cismin hızının ortamın yoğunluğuna (ya da ortamın direncine) ters orantılı olduğunu kabul eder. Onun bir cismin doğal hızının (v), ağırlığıyla (W) doğru, ortamın direnciyle (R) ters orantılı olduğu inancını şöyle ifade edebiliriz:

$$v = \frac{W}{R} \tag{2.1}$$

(2.1) denklemi hakkında üç noktayı belirtelim. İlki Aristo'nun hareket yasaları, eserlerinde denklemlerle ifade edilmemişlerdir. Hareket hakkındaki fikirlerinin ana kavramlarını, modern bir okuyucuya anlaşılır kılma çabasıyla bu modern kolaylığı kullandık. İkincisi (2.1) denkleminin yazıldığı haliyle, değişkenlerin birimleri okuyucuyu kaygılandırmamalı; çünkü yine bu denklemi niceliksel hesaplarda kullanmak için yazmadık. Son olarak, Aristo'nun fikirlerini (2.1) denklemiyle en iyi şekilde ifade etmek için v'yi ortalama hız mı yoksa anlık hız mı almak gerektiği açık değildir.

Fizik'te bir cismin harekete hiç direnç göstermeyen boşlukta sonsuz hızla hareket etmesi gerektiğini belirtir ((2.1) denkleminde $R = 0$). Aristo, bunu olanaksız bulduğu için, boşluğun olamayacağı sonucuna varır. Bir boşluğun varlığı, bir yere yönelmiş doğal hareket kavramıyla da çelişir, çünkü Aristo (evrensel) bir boşlukta yerin tanımlanamayacağını düşünür. Boşlukta olduğu varsayılan hareketi incelerken şöyle der:

> Bir kere hareket etmeye başlayan bir şeyin, herhangi bir yerde neden durması gerektiğini kimse açıklayamaz; çünkü neden *orada* duracağına *burada* dursun ki. O halde bir şey ya hareketsiz durmalıdır ya da yoluna daha güçlü birşey çıkmadıkça sonsuza dek hareket etmelidir.[10]

Modern fizik kuramı, bu cümleden, "boşlukta bir kere hareket etmeye başlayan bir cisim sonsuza dek hareketinin doğal halinde (bu durumda düz bir doğruda) devam edecektir" sonucuna varacaktır. Aksine Aristo, (sonlu bir evrende sonsuz doğrusal hareket savlanama-

yacağı için) bir boşluğun var olması olasılığını reddeder. Bu boşluğun olanaksızlığı fikri, Aristo fiziği ve genelde Aristo'nun dünyaya bakışı için çok önemlidir. Önceki kısımda Platon'un, sonra Aristo'nun yaptığı gibi, atomların bir boşlukta düzensizce dolaştıklarını öngören atomculukla ilişkili mekanikçi ve maddeci felsefeleri reddettiğini gördük. Bir boşluğun mantıksal olarak var olabileceğini bile reddederek, Aristo, daha baştan benzer maddeci felsefeleri çıkarıp atmıştır. Dahası Aristo evreninin boyutları sonluydu ve bu sonluluk ona her cismin yerinin ve hareketinin tek bir şekilde tanımlanabileceğini öngördüğü için mutlak bir merkez de veriyordu.[11] Tabii ki bu tür tartışmalar gerekli doğrulara varmazlar, eninde sonunda dünyanın neye benzemesi gerektiği görüşüne dayanırlar.

Daha önce belirttiğimiz ve (2.1) denkleminin de açıkça gösterdiği gibi, (ayın iç tarafındaki) hareket için, hareket sabit bile olsa, (ağırlık ya da kuvvet gibi) bir nedene gerek vardır. Doğal olmayan her hareket için bir dış etken ve dolayısıyla bir açıklama gerektiği için eğik atış hareketi ciddi bir sorun oluşturuyordu. Bir ok yaydan çıktıktan sonra, dünyanın merkezini aramak şeklindeki doğal eğilimine göre dümdüz düşmesi gerekirken böyle yapmaz, aksine yere dönüşü sırasında izlediği yol eğridir. Aristo bu sorunu, oku çevreleyen havanın, okun (ya da eğik atılan her cismin) arkasından onu sarmalayacağını ve onu eğik bir yol izlemeye zorlayacağını varsayarak açıklar. Bu açıklama yeterince akla yakın bulunmadığı ya da sezgilere ters düştüğü için, eğik atış konusundaki konumu Aristo fiziğinin zayıf noktalarından biriydi ve sık sık saldırıya uğramıştı.

Modern bilim felsefesinde *ad hoc* terimi (Latince tam karşılığı 'bunun için'dir) sık sık, sorunlu gözlem ya da verilerle uyum sağlamak için bir kurama ya da modele eklenen açıklamalar ya da (bir önceki paragrafta Aristo'nunki gibi) hileler için, yerme içeren bir biçimde kullanılır. Bu tür açıklamaların kullanılması, bir kuramın tutarsızlığına ya da çok ciddi sorunları olduğuna işaret eder. Sonraki konularda birçok kere bu anlamda ad hoc manevralardan söz edeceğiz. Tabii ki, bir kuramın karşılaştığı zorluğa yanıt olarak yapılan bir değişikliğin gerçekten ad hoc mu, yoksa tersine verimli yeni araştırmalara yol

açacak yaratıcı ve ilerici bir gelişme mi olduğuna karar vermenin kolay bir iş olmadığı göz önünde bulundurulmalıdır. Sık sık bir ayarlama, ancak bütün ve başarılı bir kuram kendine sağlam bir yer edindikten sonra elde edilen anlayışla inandırıcı bir biçimde ve yerme anlamında ad hoc olarak görülebilir.

2.5 Francis Bacon

Aristo'nunkinden çok farklı vurguya sahip bir bilgiye yaklaşımı ana hatlarıyla sunmak için Sir Francis Bacon'ın *Novum Organum*'unu *(Yeni Organon)* (ç.n.: organon: felsefi ve bilimsel araştırmalar için ilkeler sistemi) kısaca inceliyoruz. Aristo'nun bilimin ve bilimsel düşüncenin aracı *(organon)* olarak mantık üzerine incelemelerinin bütünü *Organon* olarak bilindiği ve Bacon'm eseri Aristo ve onun ekolü hakkında çok eleştirel olacağı için, Bacon'ın kendi incelemesini *Yeni Organon* olarak adlandırması önemlidir. Her özette olduğu gibi, aşağıdakiler de aslında Bacon'ı okumanın yerini tutamaz. Bu esere olan temel ilgimiz, onu bilimsel düşünceye bir kılavuz olarak sunmaktan çok, bazı değerli fikirleri tanıtan bir araç olarak almak olacaktır.

Bir bakış açısı sağlaması bakımından, Bacon ve yaşadığı çağ hakkında birkaç açıklama yapmak yararlı olabilir. Çok okumuş ve üretken bir deneme yazarı olan Bacon, I. Elizabeth'in (1533-1603) ve I. James'in (1566-1625) devirlerinde William Shakespeare'in (1564-1616) çağdaşı olarak İngiltere'de yaşadı. İngiltere'deki bilimsel çağdaşları, I. Elizabeth'in doktoru ve modern manyetizma ve elektrik kuramının ve tarihinin başlangıcı olan *De Magnete* (Mıknatıs Üzerine) adlı eserin sahibi William Gilbert (1540-1603) ile insanlardaki ve hayvanlardaki dolaşım sistemi ve kalp hakkında bilgilerimizin temelini atan, tümevarımsal bilimin bir klasiği olan *De Motu Cordis* (Kalbin Hareketi Üzerine) adlı eserin sahibi William Harvey (1578-1657) idi. Aynı sıralarda İtalya'da, Galilei, serbest düşme hareketini çalışıyor ve bugün bildiğimiz haliyle *mekaniğe* (genel olarak hareket bilimi) ve modern bilimsel yönteme giden yolu açıyordu.

Almanya'da Johannes Kepler (1571-1630), gezegenlerin Güneş çevresindeki yörüngelerinin doğası problemiyle uğraşıyordu ve en sonunda gezegenlerin hareketiyle ilgili üç yasasını açıklayacaktı. Bu yasalar olmadan Isaac Newton (1642-1727), iki kuşak sonra, evrensel kütleçekim yasasını asla yazamayabilirdi.

Francis Bacon, I. Elizabeth'in başbakanı (Büyük Mührü Saklayan Lord) Sir Nicholas Bacon'ın (1509-1579) oğlu olarak, 22 Ocak 1561'de doğdu. Annesi dinine çok bağlı bir Püritandı. Eğitiminin erken dönemlerinde, eski çağlardan beri kullanılagelen Aristo ve silojizme dayalı öğrenimden hazzetmedi. Bu sonraki düşünme şeklini çok etkileyecekti. 1579'da babasının ölümünden sonra, herhangi bir mal varlığı ya da geliri olmadığından, hızla ilerlemek için hukukla uğraşmaya başladı. Yirmi üç yaşından başlayarak, sonraki otuz yıl boyunca Avam Kamarası üyesiydi. Yaklaşık yirmi beş yıl boyunca zamanının önemli hukuk bilimcilerinden (en önemli rakibi) Sir Edward Coke'un (1552-1634) ve dönemin önde gelen siyasi güçlerinden (arkadaşı ve hamisi) ikinci Essex Kontu Robert Devereux'un (1566/67-1601) gölgelerinde yaşadı. Elizabeth, Bacon'ı, Essex'in İrlanda'da çıkan bir isyanı bastırışı sırasında kullandığı yol hakkında, Essex'e karşı bir dava hazırlamakla görevlendirdi. Bacon, Essex'i darağacına yolladı ve böylece kraliçenin gözüne girerek güç kazandı. 1603'te tahta I. James çıktı ve Bacon'ın durumu, doğa felsefesinin yeniden inşasını öngören (*Yeni Organon*'u da içeren *Büyük Yenileme* adlı) dev projesi için James'in desteğini alamasa da, önemli ölçüde gelişti. Bacon, Parlamento'da kralların tanrısal hakları sorununda James'i savundu ve 1613'te daha önce defalarca kralın hakları konusunda tartıştığı Coke'un bütün görev ve yetkileri elinden alındı. Bacon daha sonra, sırasıyla, (Coke'un yerine) Adalet Bakanı ve 1617'de başbakan oldu. 1618'de Sir Walter Raleigh'ı (1554-1618) eskiden kalma bir vatana ihanet suçlamasıyla dava etti, bunun sonucunda Raleigh idam edildi ve Bacon Şansölyelikle ödüllendirildi. 1619'da birinci Suffolk Kontu Thomas Howard'ı (1561-1626) devletin parasını zimmetine geçirdiği suçlamasıyla dava etti, bunun için Verulam Baronu yapıldı. 1620'de (altmış yaşında) Yeni Organon'u yayınladı ve 1621'de St. Albans Viskontu yapıldı. Fakat 1621'de Coke, Bacon'ı

yirmi sekiz ayrı olayda rüşvet almakla suçladı ve bu Bacon'ın kendi düşüşünü hazırladı. Sonraki beş yılını bilimin ilerlemesini sağlayacak yöntemler üzerinde çalışmaya harcadı. Bir tavuğu karda dondurarak saklamak için bir deney yapmaya çalışırken zatürree oldu ve öldü.

Bacon, çeşitli ilgi alanlarına sahip, çok yönlü, son derece yetenekli ve bunlara uygun biçimde yeteneklerinden çok şey bekleyen bir insandı. Bazı önemli girişimlerinin, varmasını umduğu amaçlara ulaşamamasına şaşmamak gerek. (Hiçbir zaman tamamlayamadığı) *Yeni Organon*'u, yukarıda sözü edilen zamanının önemli bilim adamlarını (ya da ondan sonra gelenleri bile) aslında etkilememiştir. Bacon taraftarları bazen *Yeni Organon* için çok fazla hak iddia etmişlerdir. Bilimsel çağdaşlarından uzak kalmıştı ve onların gelişimleri hakkında son derece eleştireldi. Bacon, Kopernik'in 'hipotezini' reddetti ve Galilei'nin ve Gilbert'in araştırmalarını hor gördü. Matematiğin ve hatasız ölçümün önemini küçümsedi. Yine de *Yeni Organon*'daki bazı gözlemleri ve yorumları çarpıcıdır.

2.6 *Yeni Organon*

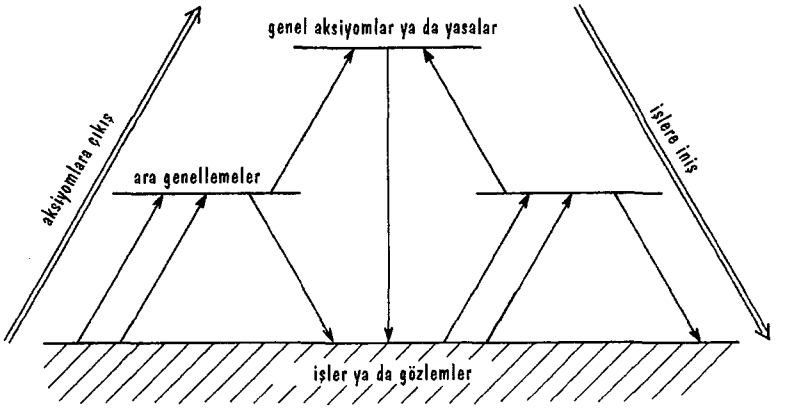
Şimdi Bacon'ın kendi eseri neymiş ona bakalım. Birkaç özel durumdan hemencecik çok kapsamlı genellemelere varmanın cazibesine kapılmasındansa, dikkatle ilerlenmesini vurgulamıştır. Felsefi sistemlerin genellikle ilk yazarının ellerinde geliştiğini ve sonradan bozulduklarını belirtmiştir. Sonuçların önceden tahmin edilmesindense, doğanın gerçekleri incelenmeli ve yorumlanmaya çalışılmalıdır. Düşünürlerin en kapsamlı genellemeleri çalışarak, dolayısıyla sorunun yanlış tarafından işe koyularak hata yaptıklarını söylemiştir. Bugün bunu çok açık bulsak da, onun zamanında çoğu insan için bu hiç de açık değildi. Bacon, kendisinin de itiraf ettiği gibi, bilginin evrensel ve bütün bir kuramını önermese de, tümevarımın ve kontrollü deneylerle ya da gözlemlerle doğrulamanın önemini vurgulamıştır.

Bacon, insanlığın daha iyiye gitmesi için bilimin kullanılmasının ahlaki bir zorunluluk olduğuna inanmakla kalmamış, bilimin

meyvelerinin, ya da pratik sonuçlarının, onun başlangıç noktalarının ve genel ilkelerinin doğruluğunun önemli bir göstergesi olduğuna da inanmıştır. Bir kez daha, Descartes'ın *Yöntem Üzerine Konuşma*'sındaki gibi, modern bilimin ilerlemesi için çok önemli olan, bir hipotezin sağlamlığı için doğru tahminlerin teminat görevi görmesi fikrinin özüne rastlıyoruz. Bacon ünlü bir metaforla, bilimin ampirik (ampiristler, yalnızca gelişigüzel gerçeklik toplayıcıları - karıncalar) ve dogmatik (rasyonalistler, saf soyut düşünürler - örümcekler) uçlar arasında bir ara yol izlemesi ve bu iki yolu harmanlaması (meyveler üretmek için hipotez ve gözlem - arılar) gerektiğini vurgulamıştır.

> Bilimi tartışanlar ya ampiristler ya da dogmatikler olageldi. İlki karıncalar gibi yalnızca biriktirirler ve sakladıklarını kullanırlar, ikincisi örümcekler gibi kendi ağlarını kendileri örerler. İkisi arasındaki arılar ise bahçenin ve tarlanın çiçeklerinden maddeler toplar, fakat kendi çabalarıyla bu maddeleri yoğurur ve biçimlendirirler. Felsefenin gerçek emeği arılarınkini andırır, çünkü o ne bütünüyle ne de temel olarak aklın gücüne dayanır, ne de doğal tarihin ve mekanik deneylerinin ham haliyle bulduğu metaryali hafızada duvar gibi örer; fakat bu metaryali anlayışta değiştirir ve işler. O halde bu iki yetinin (deneysel ve akılcı) bugüne kadar girişilenden daha yakın ve daha saf bir ittifakından umutlanmamız için iyi nedenlerimiz var.[12]

Herşeyden önce, Bacon özel olanlardan genellemelere yavaş ve dikkatli bir ilerlemeyi savunmuştur. Bilgiye varmak için, tümevarım ve tümdengelimin birlikte kullanılmasının üzerinde durmuştur. Bacon'ın aksiyomlar merdiveninde, belirli gözlemlere ve verilere dayanan gösterişsiz genellemeler yapılmalı, tahminlerinin gerçeklerle karşılaştırılmasıyla, bu gösterişsiz kuramlar bir kere daha kontrol edilmeli, daha sonra bu genellemeler daha genel olanları oluşturmak için birleştirilmeli, tahminleri gözlemlerle karşılaştırılarak doğrulukları gözden geçirilmeli ve bu şekilde en genel aksiyomlara, kuramlara ya da yasalara doğru dikkatle ilerlenmelidir. Bu aksiyomlara çıkış - işlere iniş düzeni Şekil 2.1'de şematik olarak resmedilmiştir.



Şekil 2.1 Bacon'ın aksiyomlar merdiveni

2.7 Bacon'ın ve Aristo'nun Karşılaştırılması

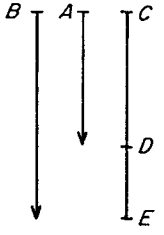
Hem Aristo, hem de Bacon en sonunda, akıl yoluyla, genel yasalara ve ilkelere varılması için girdi olarak deneyimle başlanması gerektiğine inanmıştır. Buna karşın, aralarındaki belli başlı fark, programın gözlem aşamasına olan gereksinime ve bunun kapsamına yaptıkları vurguda yatar. Belirli konularda, Aristo birkaç gözlemden hızla, daha sonra mutlak ve değiştirilmez gerçekler olarak alınan, en evrensel hipotezlere geçmeye düşkündü. Öte yandan Bacon'ın felsefesi her çeşit ilintisiz olguyu neredeyse körlemesine toplamaya verdiği aşırı önem nedeniyle bazen eleştirilir. Yukarıdaki alıntıdaki benzetmenin gösterdiği gibi, Bacon hem ampiristleri (gelişigüzel gerçeklik toplayanları) hem de a priori düşünürleri azarladığı için, bu aslında biraz haksız bir suçlamadır. Yalnızca gerçeklere dayanan bir veriler yığını alıp, bundan genel yasalar çıkarmak için mantık kullanılamaz. Bir sonraki konuda göreceğimiz gibi, hangi gerçeklerin göz önüne alınacağına karar vermek ve bunlardan bilimsel bir kuram soyutlayabilmek için karar vermek gerekir. Bacon'ı izleyenler on yedinci ve daha sonraki yüzyılların

bilim adamları değil, David Hume ve John Mill (1806-1873) gibi özel bilimsel kuramlar inşa etmekten çok tümevarımla ilgili felsefi sorunlarla ilgilenen tümevarımsal mantıkçılardır. Descartes'ın katı bir tümdengelimsel sisteme dayanan bilgi kuramı, Bacon'ın bazen tümevarımla fazla meşgul kuramına göre modern bilimsel yönteme daha yakın göründüğü için, Bacon'dansa Descartes'ı modern felsefenin ve bilimsel düşüncenin gerçek habercisi olarak almak doğru olabilir.

2.A Aristo'nun *Gökler Üzerine* ve *Fizik*'te Hareket Üzerine Düşünceleri

Gökler Üzerine'de Aristo, cisimlerin ağırlıklarınca üretilen doğal hareketleri olduğunu söyler.

> Dolayısıyla öne sürüyoruz ki, doğal hiçbir güdüsü olmayan bir cisim ne merkeze ne de merkezden dışarı doğru hareket edebilir. Ağırlığı olmayan *A* ve bir de ağırlık 'bahşedilmiş' *B* gibi iki cisim ele alalım. Ağırlıksız cismin *CD* uzaklığını, aynı anda da *B* cisminin, ağır cismin daha uzağa gitmesi gerekeceği için daha büyük olacak olan, *CE* uzaklığını aldığını düşünelim. Daha sonra ağır cismin *CE* : *CD* oranınca (*B*'nin bir parçasının böyle bölünememesi için hiçbir neden olmadığı için) bölündüğünü varsayın. O halde cismin tamamı bütün *CE* uzaklığını alırsa, aynı zaman aralığında bölünen parça *CD* uzaklığını alır. Bu durumda da ağırlıksız cisimle ağırlığı olan bir cisim aynı uzunlukta yol alacaktır ki bu olanaksızdır.[13]



Şekil 2.2 Ağırlık sonucu oluşan doğal hareketler

Bu alıntıyı izlemenizde Şekil 2.2 yardımcı olabilir. Ağırlıksız olan *A* cisminin, ağırlığı olan *B* cisminin daha büyük olan *CE* aralığını aldığı sırada, doğal hareketle *CD* aralığınca yol aldığı varsayılmaktadır. Aristo, *B* cismini, parçalardan birinin *B* cismine ağırlığının oranı *CD* : *CE* olacak şekilde iki parçaya ayırıyor. Daha sonra bu daha hafif parçanın, *B* cismi *CE* aralığınca yol alırken geçen sürede *CD* aralığı kadar ilerleyeceğini söylüyor. Ağırlıksız (doğal hiçbir güdüsü olmayan) bir cismin doğal bir hareketi olamayacağı sonucuna varıyor, çünkü tersi olsa, doğal bir güdüsü (ya da ağırlığı) olan bir cisimle aynı şekilde hareket ederdi diyor. İkincisi için bir neden olduğu halde, ilki için olmadığından, böyle birşeyi olanaksız buluyor.

Aynı eserin devamında Aristo şöyle diyor:

> O halde, mutlak hafif olanla yukarıya ya da sınıra doğru, mutlak ağır olanla da aşağıya ya da merkeze doğru hareket edeni kastediyoruz. Daha hafif olanla ya da göreli olarak hafif olanla, ağırlığı olan ve hacimleri eşit iki cisimden, aşağıya doğru olan doğal hareketinin hızı diğeri tarafından geçileni kastediyoruz.
>
> . . .
>
> Herhangi iki ateşten kısım için... daha büyük olanın yukarıya doğru hareketi daha küçük olanınkinden, tıpkı altın ya da kurşundan bir kütlenin, ya da benzer şekilde ağırlığı olan herhangi bir cismin, aşağıya doğru olan hareketinin büyüklüğü oranınca daha hızlı olması gibi, daha hızlıdır.[14]
>
> . . .
>
> Belli bir ağırlık, belirli bir aralığı belirli bir sürede alır; aynı büyüklükte ve hatta daha ağır bir cisim, aynı aralığı daha az sürede alır, süreler ağırlıklarla ters orantılıdır. Örneğin ağırlıklardan biri diğerinin iki katıysa, belirli bir hareketi diğerinin yarısı sürede tamamlar.[15]

Bu alıntılar, (doğal hareket halindeki) bir cismin ağırlığının cismin hızı (ya da düşüş hızı) cinsinden ölçüsünü veriyor gibi alınabilir.

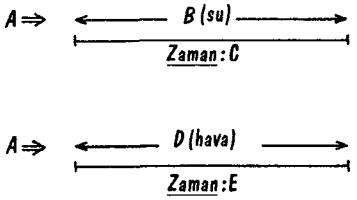
Aristo, hareket eden bir cismin hızının, cisim doğal yerine yaklaştıkça artmasına izin verir:

Toprak merkezine ve ateş de yukarıdaki yerine yaklaştıkça daha hızlı hareket eder.[10]

Bu artan itki, hareketin nedeni olacak şekilde ağırlığın artmasına mı neden olur?

Fizik'te Aristo, bir boşluğun varoluşunun olanaksızlığını göstermeye çalışır.

O halde ortam bir fark oluşturur; çünkü hareket eden cismi engeller, özellikle de zıt yönde ilerliyorsa...



Şekil 2.3 Bir ortamda hareket

O halde *A*, (*B* ortamının uzunluğu *D*'ninkine eşitse) *B*'den *C* süresinde ve daha koyu olan *D* ortamından, engelleyen cismin yoğunluğuyla orantılı olarak, *E* süresinde geçer. Örneğin, *B*'nin su ve *D*'nin hava olduğunu kabul edelim; o halde hava sudan ne kadar inceyse ve maddi olarak daha biçimsizse, *A* da o ölçüde *D*'den *B*'de olduğundan daha hızlı geçer. O halde havadaki hızın sudaki hıza oranı, havanın suya olan oranıyla aynı olsun. O zaman hava iki katı daha inceyse, cisim *B*'yi, *D*'yi geçtiğinin iki katı sürede geçer, dolayısıyla *C* süresi *E* süresinin iki katı olur. Her zaman, ortam maddi olarak ne kadar daha biçimsizse, daha az direnç gösterirse ve daha kolay bölünebilirse, hareket o kadar hızlı olur.

. . .

Bunlar ortamlardaki farklılıklardan çıkan sonuçlardır; izleyenler hareket eden bir cismin bir diğerine oranla fazlalığına bağlıdır. Ağırlık ya da hafiflik itkisinden biri daha büyük olan cisimlerin, diğer bakımlardan benzerseler, aynı uzaklığı büyüklüklerinin birbirine olan

> oranıyla daha hızlı gittiklerini görürüz. Dolayısıyla boşlukta da bu hız oranıyla hareket edeceklerdir. Fakat bu olanaksızdır; neden birisi daha hızlı gitsin ki? (*Plena*'da [boşluğun aksine maddeyle dolu uzay] hareket ederken öyle olmalıdır; çünkü daha büyük olan gücüyle onları daha hızlı böler. Çünkü hareket eden bir cisim ortamı ya şekliyle ya da birlikte taşınan ya da izdüşümü alınan cismin itkisiyle yarar.) Dolayısıyla hepsi aynı hıza sahip olacaktır. Fakat bu olanaksızdır.[17]

Aristo fiziğinde ortamın ikili bir rol oynadığına dikkat ediniz: (1) (uygun ya da doğal yere doğru) hareket için bir neden sağlamak ve (2) (sonsuz olmaması için) harekete direnç göstermek. Yani, (2.1) denklemindeki gösterimimiz açısından bakınca, sağ taraftaki her iki faktör de (*W* ve *R*) nedenseldir.

Şekil 2.3'te Aristo'nun savının grafik bir betimlemesini bulabilirsiniz. *A* cismi (doğal hareket halinde) eşit uzaklıkları, bir kez sudan (*B*) daha uzun bir sürede (*C*) ve bir kez de havadan (*D*) daha kısa bir sürede (*E*) geçer. Yukarıdaki ikinci paragrafın ikinci cümlesinde, Aristo, hızların iki ortamın yoğunluklarının oranıyla (ters) orantılı olduğunu varsayar. (Metnin burada verilmeyen kısmında) bir cismin boşlukta, hiçbir dirençle karşılaşmayacağı için, sonsuz hızla hareket edeceği sonucuna vararak devam eder. Bunu olanaksız bulduğu için, bir boşluğun ya da vakumun olamayacağı sonucunu çıkarır. Yukarıda verilen son paragrafta, bir cisim ağırlığıyla doğru orantılı olarak daha hızlı hareket edeceği için, cisimlerin boşlukta, görünürde hızlardaki bu farklılığı açıklayacak bir neden olmasa da, farklı hızlarda gideceğini söyleyerek, hiçbir boşluğun olamayacağına dair vardığı sonucu güçlendirmeye çalışır.[18] Farklı hızlarla gitme seçeneğini reddederek, bütün cisimlerin boşlukta aynı hızla gideceklerini belirtir, ki onun için bu da aynı derecede kabul edilemez bir sonuçtur. Böylece Aristo bir boşluğun var olması olasılığını tümden reddeder. Bir cismin hareketi için bir ortamın gerekli olduğuna inanır.

Yararlı Kaynaklar

Aristo'nun *Nicomachean Etiği*'nin I. ve II. kitapları, okuyucuya onun birleştirilmiş teleonomik dünya görüşünün çeşitli öğelerinin kendi aralarında nasıl ilişkili olduklarına ilişkin bir resim verir: *Etik*'in bu kısmı insan sorunlarıyla ilgilendiği halde, Aristo'nun düşüncesine sinmiş teleonomik yönle bürülüdür ve bu konuda, üzerinde çalıştığımız *Fizik* ve *Gökler Üzerine*'deki parçalarla ilginç bir karşılaştırma yapılmasını sağlar. Stanley Jaki'nin *Fiziğin İlgisi*'nin 1. konusu Aristo'nun organizma olarak fiziksel dünyaya bakışını inceler. Adwin Green'in *Sir Francis Bacon*'ı bu çok yönlü insan hakkında okumaya değer ve aydınlatıcı bir biyografidir.

3

Bilim ve Metafizik

Bu konuda, Rönesans'tan yirminci yüzyılın başlarına değin gözde olan birkaç klasik bilim görüşünü tartışacağız ve ardından, bilim kavramında daha sonra çıkan bazı değişiklikleri irdeleyeceğiz. Bilim felsefesinin, geçmişini de kapsayacak biçimde, günümüzdeki konumunun daha bütün bir özetini 25. Konu'da göreceğiz.

3.1 Bilimsel Yöntemin Kökenleri

Son konuda Bacon'ı, daha sonra modern bilimsel yöntemin önemli bir yönü olacak bir fikrin savunucusuna örnek olarak kullandık. Descartes'tan da modern felsefenin ve bilimsel düşüncenin babası olarak sözettik. Araştırmalarında modern bilimsel yöntemi uygulayan ilk bilim adamı olarak genellikle Galilei kabul edilir. (6. Konu'da Galilei'nin bilimsel eserlerini ve araştırmalarını inceleyeceğiz.) Modern bilimsel düşüncenin ve uygulamasının yükselişini göstermek için, Bacon, Descartes ya da Galilei gibi belirli kişilerin çalışmalarına odaklanmak, bunu sergileme bakımından en kolay yol olacağı halde, bu on yedinci yüzyıl düşünürleri, Aristo geleneğinden ilk ayrılanlar değildiler. Onların da öncülleri vardı. Örneğin on üçüncü yüzyılda bilime deneysel bir boyut katılması fikri, İngiliz Franciscan rahibi Roger Bacon (~1220-1292) tarafından savunulmuştu bile. Daha sonra 6. Konu'da daha ayrıntılı olarak göreceğimiz gibi,

Paris'teki bazı on dördüncü yüzyıl Ockhamistleri, hareket problemine matematiksel yöntemler uygulamış ve modern mekaniğin ve kalkülüsün temellerine katkıda bulunan sonuçlar elde etmişlerdi. (Bu grup, Ockhamlı William'ın (~1285-1347/1349) ardından böyle adlandırılmıştı. William, bazen 'En kolay olan ve çalışan en iyidir' diye özetlenen ve sık sık alıntısı yapılan "usturası" (ya da bir açıklamayı değerlendirmede kullanılan ölçütü) ile ünlüdür.) John Buridan (1300-1358), güdü kavramını formüle etmiş ve yerçekiminin düşen bir cisme etkisini bugün sabit ivmeli hareket dediğimiz biçimde ele almıştı. Nicholas Oresme (1325-1382), fonksiyonları göstermek için, koordinatları kullanarak analitik geometrinin bazı öğelerini öngörmüş ve sabit ivmeli hareket için bir konum-zaman formülü düşünmüştü. Leonardo da Vinci (1452-1519), bu Parisli ekolün çalışmalarını biliyordu ve kendisinin mekanikteki araştırmaları bunlardan etkilenmişti. Bilimde matematik kullanmanın önemini, gözlem ve deneye olan gereksinimi ve doğa yasalarını keşfetmede (modern terminolojiyle) hem tümevarım hem de tümdengelimin oynadığı iki taraflı rolü vurgulamıştı. Önemli olan nokta, çoğu kez yeni fikirleri sanki bir kişi tarafından temsil ediliyormuş gibi sunmamıza karşın, devrim niteliğindeki kavrayışların köklerinin genellikle geçmişe uzandıklarının ve karışık tarihleri olduğunun farkında olmak gerektiğidir. Burada bunların kökenlerinin yalnızca kısa bir özetini verebiliriz.

Bacon'ın, Galilei'nin ve 'bilimsel yöntemin' diğer savunucularının eserlerinin temelinde yatan, bilimin nesnel geçerliliğine olan inançtır. Bu, "doğa gerçekten bizim dışımızda ve bizden bağımsız olarak vardır, bizim beklentilerimize bakmaksızın işleyen doğa yasaları mevcuttur ve dahası bizler bu yasaları keşfetme gücüne sahibiz" demektir. Bilim adamı açısından bu, inancının gereğidir. Bilimin kendisi, bilinebilir yasalarla yönetilen bir dış dünya öngören bu temel varsayımın doğruluğunu ya da geçerliliğini kanıtlayamaz. Belki de bilimsel girişimin temelindeki bu kanıtlanamaz inanç öğesi, bilimin doğası hakkında daha önceden edindiğiniz bazı fikirleriniz nedeniyle sizlere tamamen yabancı geliyordur. Eğer öyleyse bu Konu biraz rahatsız edici olabilir.

O halde, daha sonraki konularda somut fiziksel yasaları incelemeye dönmeden önce, bilimsel girişimin doğasına ilişkin birkaç şey söyleyelim.

3.2 Bilime Popüler Bir Bakış

Francis Bacon tarafından önerilen programa bazı benzerlikler gösteren, günümüzde gözde olan anlayışa göre bilimi özet olarak şöyle verebiliriz:

a gözlem
b hipotez
c öngörü
d doğrulama

Bilimin ve nasıl çalıştığının bu basit modeli, onu, dikkatli gözlemler yapılan ya da kontrollü deneyler düzenlenen, sonrasında bu gözlemsel verilerden kurallar ya da yasalar çıkartılan ve genel hipotezler oluşturulan tamamen nesnel bir süreç olarak resmeder. Daha sonra bu genel hipotezlerle ya da öne sürülen kuramlarla yeni gözlemlenebilir sonuçlar öngörülür. Bu öngörüler, gerçekte olanlarla karşılaştırılır ve doğrulanırsa, kuram kesinleşmiş olur. Bu yolla bilim, fiziksel dünya hakkında giderek daha fazla bilgi toplar ve bizi gerçeğe daha yakınlaştırır.

Bu modeli şimdi biraz daha eleştirel açıdan inceleyelim. Elbette ki fen bilimlerindeki neredeyse bütün bilim adamları duyu deneyimlerinin verileriyle başlamak gerektiği konusunda hemfikirdirler. Yalnızca Bacon, Galilei ve Newton gibi kimileri bu fikirde değildiler. Harvey, insan vücudunda kanın dolaşımı konusunda devrim niteliğindeki ve öncü eserinde, Aristo gibi, daha çok bilinen şeylerden daha az bilinenlere doğru ilerlememiz gerektiğini öne sürmüştür. Bu yaklaşım onun 'duyularla ayırt edilebilen gerçekler fikirleri beklemezler ve doğanın eserleri hiçbir antika önünde saygıyla eğilmezler...'[1] cümlesinde zarifçe ve özlü bir biçimde özetlenmiştir. Fakat bu gerçeklerle ve verilerle ne yapacağız?

3.3 Hume ve Mill'in Tümevarım Üzerine Düşünceleri

Daha önce, belirli gözlemlerden genel yasalar ve ilkeler soyutlama işlemine tümevarım demiştik. Tümevarımla çıkarılmış bir yasanın doğru olduğu kesin olarak bilinebilir mi? On sekizinci yüzyılda yaşamış İngiliz düşünür, tarihçi, ekonomist ve yazar David Hume, felsefenin temel olarak insan doğasının tümevarımsal, deneysel bilimi olduğuna inanıyordu. *İnsan Zihni Üzerine Bir Araştırma* (1758) adlı eserinde, nedensellik kavramını, tümevarımın geçerliliğini ve fikirlerden önce duyu verilerinin gelmesinin gerekliliğini tartışır. Burada Hume'un eserinden 3.A kısmında verilen alıntıyı yalnızca özetliyoruz. Hume, neden-sonuç kavramlarını incelerken, gerçekte gözlemlediğimizin yalnızca biri bir diğerini izleyen olaylar olduğunu, bunların aralarında gerekli olan bir bağlantı olmadığını işaret eder. Belirtilen sonucu veren bir nedenin (ya da bağlantının) doğrudan gözlenmesi yoktur. Gördüklerimiz, birleştirilmiş (ya da bir araya gelmiş) ama hiçbir zaman birbirine bağlanmamış olaylar olduğu için, *neden* ve *sonuç* terimleri işlevsel anlamı olmayan sözcüklerdir. Birbiriyle birleştirilmiş (biri diğerini izleyen) iki olaya ilişkin bir örnek bildiğimizde, aralarındaki bağlantıyı neden-sonuç cinsinden açıklayan genel bir yasa vermeyiz. Başlangıçta durmakta olan bir cisme, hareket eden bir diğer cisim tarafından çarpıldığında, çarpılan cismin de hareket etmesi gibi, birbiriyle birleştirilmiş aynı olaylar ikililerini tekrar tekrar gördüğümüzde neden-sonuca başvururuz. (Bu örnekte, "hareket eden cismin durmakta olan cisimle çarpışması, durmakta olan cismin hareket etmeye başlaması sonucuna neden oldu" denir.) Yani, sürekli birleştirilmişlik halini görmemizden, gerekli bir bağlantı olduğunu çıkarırız. Bununla birlikte, böyle bir çift olayla çok sayıda olay arasındaki fark ise aklın alışkanlıkla (düşüncemizde) gerekli bir bağlantının var olacağını hissetmeye kaymasıdır.

Özünde, Hume, gelecek gözlemlerin geçmiştekilere benzemesini varsaymamızı gerektirecek ne gibi bir nedenimiz olduğunu sordu. Gözlemlenmiş olgulardan tümevarımla çıkarılan, öngörülerde bulunabilen evrensel yasalara sınırsız güven duyulmasına meydan oku-

du. Örnek olarak, güneşin yazılı tarihin başından beri geçmişte her gün doğduğu gerçeğinden, güneşin istisnasız olarak her gün doğacağı 'yasası'nı tümevarımla çıkarabiliriz. Peki ya güneşin yarın doğacağından mutlak olarak emin olabilir miyiz? Hayır. Tümevarımla elde edilmiş fiziksel yasaların geçici karakterinden kurtuluş yoktur. Hume, tümevarıma olan gereksinimi görmüş, ama geçerliliğinin kanıtlanamaz olduğunu hissetmişti.

Daha sonra gelen İngiliz düşünür, ekonomist ve etik kuramcısı John Mill de tümevarım sorunu hakkında çok kapsamlı yazmıştır. Mill, babası tarafından eğitilmiş dahi bir çocuktu; sekiz yaşındayken Yunanca okuyabiliyordu, Latince öğrenmeye başlamıştı ve on iki yaşına geldiğinde Öklit ve sonra Aristo çalışıyordu. Yalnızca bir düşünür değil, aynı zamanda siyasi eylemciydi. Mill, *Mantığın Sistemi* (1843) adlı eserinde, tümevarımı ve doğa yasalarında varsayılan aynılığı tartışır. Mantık bilimi için ana problemin, genel önermeleri keşfetme ve kanıtlama işlemi olan tümevarım sürecinin doğrulanması olduğunu öne sürer. Mill, problemi, tümevarımın mantık kurallarına uygun olduğu koşulları keşfetme sorunu olarak görür. Tüm tümevarımlarda doğanın izlediği yolun tekdüze olduğu ya da evrenin genel yasalarla yönetildiği varsayımı vardır. Ama bunun kendisi, tek tek durumların hepsinde doğru oldu diye doğru olduğunu varsaydığımız için tümevarıma bir örnektir. Bu doğanın izlediği yolun aynılığı hali, tümevarımın doğrulanmasında kullanılabilecek öncüldür (ya da ilk ilkedir). Ne yazık ki, ne Mill ne de bir başkası bu öncülün doğruluğunu kanıtlayamamıştır. Çok az insan doğruluğunu tartışacak olsa da ve o olmaksızın bilim yapamayacak olsak da bu öncül hâlâ bir varsayımdır.

3.4 Popper'ın Gözlem ve Hipotez Üzerine Düşünceleri

Neden-sonuç ilişkisinin doğası, tümevarımın geçerliliği ve fiziksel yasaların durumu konusundaki kaygıların, aslında miskin bir cumartesi öğleden sonrasına bırakılacak yalnızca felsefi bir kılı kırk

yarma işi olduğunu düşünebilirsiniz ve böyle sorularla ilgilenmeden bilim gibi ciddi bir işle devam etmek daha iyi olur diye hissedebilirsiniz. Bu sorunlara üstünkörü dokunup geçsek bile, gözlem ve hipotez arasındaki ilişkiyi göz önüne alın. Veri toplama ve kuramlar keşfetme işlemleri birbirlerinden ne kadar bağımsızdırlar? Bilim için gerekli olan olgu toplama işleminin gelişigüzel olduğu enderdir. *Türlerin Kökeni* (1859) adlı eseriyle evrim kuramının temellerini atan Charles Darwin'in (1809-1882) belirttiği gibi, etkin bir kuramcı olmadan kimse iyi bir gözlemci olamaz. Yani, yeni olguların keşfi ve bir kuramın evrimi karşılıklı işlevlerdir. Bir bilim adamının düzenlediği deneyler, çabucak ve apaçık değil, önemli zorluklarla toparlanmış duyu verileriyle sonuçlanır. Ona araştırmasında yol gösterecek bir kuramı olmalıdır, yoksa doğadaki çok büyük sayıda olaydan hangisini inceleyeceğini bilemez. Fizik çalışmalarımızda göreceğimiz gibi, bir çağın o zaman kabul görmüş kuramına göre çok önemli sayılan olaylar, genellikle, daha sonraları bir başka kuram el üstünde tutulmaya başlandığında daha önemsiz gözükürler.

Belki, bütün bunlar gözlemle hipotez arasındaki ilişkinin yalnızca ayrıntıları diye karşı çıkabilirsiniz. Şu ya da bu biçimde, bilim adamları fiziksel yasalar için adaylara ulaşırlar ve bunlardan daha sonra aranabilecek yeni sonuçlar çıkarırlar. Bir kuram, gözlemlerimizle uyuşan bir sonucu önceden öngördüğünde, bundan ne sonuç çıkarırız? Kuram doğrulanmış mı olur? Hayır, yalnızca şimdilik çürütülmediğini öğrenmiş oluruz. Bazen bunu desteklemekten ya da doğrulamaktan söz ederek, daha olumlu bir açıklamayla sunarız. Yani, bir kuram yeterince dikkatli gözlemlerle ya da deneylerle kesinlikle çelişki içinde bir çıkarsamada bulunursa, mantıksal olarak o kuramın yanlış olması gerekir. Artık çürütülmüştür. Verilen bir (p) kuramı belirli bir (q) öngörüsünde bulunur ya da onu gerektirir. Ayrıntılı incelemelerle ya da deneysel sonuçlarla öngörünün yanlış olduğu ($\sim q$) ortaya çıkarsa, dolayısıyla kuramın da yanlış ($\sim p$) olması gerekir. (Ne yazık ki, bir hipotezi reddetmek için verilerin yeterince iyi olup olmadığına karar vermek her zaman kolay değildir. Bunu 4. ve 5. konularda, yıldız paralaksını (ç.n.: sabit bir yıldızın dünyaya göre

konumundaki yıllık açısal değişim) tartışırken göreceğiz.) Yine de öngörü doğruysa (*q*), kuramın da doğru (*p*) olduğundan emin olamayız.

Yakın geçmişten bir İngiliz bilim felsefecisi, Sir Karl Popper (1902-1994), bilimsel bir kuramın kalite göstergesinin aslında doğrulanabilmesi değil çürütülebilmesi ya da yanlışlanabilmesi olduğunu vurgulamıştır. Bu ölçüte göre, bir kuram yalnızca gerçek dünyayla karşılaştırılabilecek ve böylece fiziksel gerçeklikte doğru olup olmadıkları çıkarılabilecek ayrıntılı öngörülerde bulunabiliyorsa, bilimsel olma hakkını kazanabilir. Bu konunun sonunda bir alıntısını sunduğumuz *Varsayımlar ve Çürütmeler* adlı eserinde Popper, bilimsel bir kuramı bilimsel olmayanından ayırt etmemizi sağlayan ölçütün ne olduğunu sorar. Gençliğinde (1919 civarı) Karl Marx'ın (1818-1883) tarih kuramını, Sigmund Freud'un (1856-1939) psikanalizini ve Alfred Adler'in (1870-1937) bireysel psikolojisini, Einstein'ın genel görelilik kuramıyla karşılaştırır. Öncekilerin üçü de kendilerinden sonra olan her şeyi bu kuramları destekleyecek şekilde yorumlayabildikleri ve dolayısıyla üçünün de büyük bir açıklayıcı gücü olduğu için, Popper, üç durumda da çok kolayca elde edildiklerinden, doğrulamaların yalnız başına çok önemli olmadığı sonucunu çıkarır. Genel görelilik kuramında, ya da gerçekten bilimsel her kuramda, daha sonra deneylerle test edilen kesin öngörülerde bulunulur. Gözlemsel olguların bu öngörülerle uyuşmazlık etmeyeceklerinin önceden bir garantisi yoktur. Böyle kuramlar çürütülebilir. Yalnızca (çürütülebilecekleri için) bu risk öğesini taşıyan öngörüler, bilimsel kuramlar için anlamlı destekleyici kanıtlar olarak sayılmalıdırlar. İyi bir bilimsel kuram, belirli sonuçların doğada meydana gelmelerini yasaklar ve böyle bir kuram için bu yasaklanmış sonuçları gerçekten gözlemleyerek onu yanlışlamaya ya da çürütmeye çalışmak sıkı bir testtir. Dolayısıyla Popper için, bilimsel kuramların (ilke olarak) çürütülebilir ya da yanlışlanabilir olmaları kalite göstergesidir. (Bu, onların gerçekte sürekli olarak çürütüldüklerini söylemekle aynı değildir. Başarılı bir bilimsel kuram, onu çürütmeye çalışan bir çok ciddi denemeyi atlatabilen kuramdır.) Bu, Amerikalı düşünür Willard Quine'in (1908-) konumuna benzer. (Bölüm I'in (*Bilimsel girişim*) alıntılarını anımsayınız.)

3.5 Hipotezlerin Doğrulanmaları

O halde, bilimsel bir kuram, gözlemlerle yapılan karşılaştırmalara dayandığı sürece doğru olabilir. Bir kuramın doğru olduğundan hiçbir zaman emin olamayız, yalnızca çürütülmüş olanların yanlışlığından emin olabiliriz. Buna karşın, bilim adamları öngörülerde bulunurken kuramları kullanırlar ve bu öngörüler doğayla uyum içinde olduklarında, bu kuramlarla çalışmaya devam ederler. Bir kuram postüle etmek ve sonra bununla belirli öngörülerde bulunmaya dayalı bu modele *hipotetik-tümdengelimsel* (hypothetico-deductive) yöntem denir. Bu yöntem bir kuramın doğru olması gerektiğini kanıtlamadığı halde, bize kuramı kabul etmemiz için (tabii ki her zaman geçici olarak) *güvence* verir. Burada tanımladığımız anlamıyla *retrodüksiyon*, bir kuramın akla uygunluğunun, yaptığı başarılı ayrıntılı öngörülere dayanacağını öne sürmek anlamına gelir. Günümüzdeki modern bakış açısına göre, bunun Newton'un *Felsefede Usavurmanın (Muhakemenin) Kuralları* adlı eserinde savunduğu yöntem olduğunu görürüz.

> Deneysel felsefede genel tümevarımla kesinlikle ya da neredeyse doğru, hayal edilebilecek başka karşı hipotezlere dayanmayan, başka olayların oluşabileceği zamana kadar - ki o zaman çok daha kesinleştirilebilecek ya da istisnalara maruz kalabilecektirler - olaylardan çıkarılmış önermeleri göz önüne almalıyız.[2]

Şimdiye kadar, daha sonra kendilerinden mantıksal olarak kesin gizli anlamları ya da öngörüleri çıkarabileceğimiz aksiyomlar ya da postülatlar için üç çeşit güvence gördük:

i *aksiyomatik* - Burada aksiyomun kanıt gerekmeksizin doğru, apaçık ya da hemen görülebilecek doğrulukta olduğu öne sürülür. 2. Konu'da gördüğümüz gibi, Aristo deneyim verilerinin bir hayli üstünkörü incelemesinden sonra, genel kozmolojik ilkelerine çoğunlukla bu yolla ulaşmıştır. Descartes, mekanik bilimini bir kere adamakıllı anlaşıldıktan sonra, kendi başlarına doğru görünen bu tür ilk ilkelere dayandırmaya çalışmıştır.

ii *tümdengelen* - Burada belirli olaylardan ya da gözlemlerden oluşan büyük bir grupta algılanan benzerliklerden genellemeler yapılır. Bu, Bacon tarafından önerilen ve sonra Hume ve Mill tarafından desteklenen yöntemdir.

iii *retrodüktif* - Burada, yukarıdaki hipotetik-tümdengelimsel yöntemde olduğu gibi, sonuçlardan geriye doğru hipotezlere gidilir.

Şimdi Popper'in bilimin işleyişi için çok önemli olduğunu hissettiği yanlışlama işlemine geri dönelim. Bu işlem o kadar kolay ve kesin midir? Hayır, çünkü bilim adamlarını daha önceden başarılı olmuş bir modeli ya da kuramı terketmeye zorlamak için, gözlemsel veriler tek başlarına hiçbir zaman yeterli değildirler. Bu tür kuramlar çoğunlukla değiştirilirler ya da yeniden yorumlanırlar. Örneğin, Planck, bir çok seçkin meslektaşıyla bazı ısı ve mekanik yasalarının aralarındaki ilişki ve bunların yorumlanması konusunda uzun ve iğneleyici bir tartışmaya girmişti. Onu destekleyen sağlam savlara sahip olduğu halde, bakış açısının genel kabulü için çok yıllar geçmesi gerekmiştir. *Bilimsel Otobiyografi*'sinde şöyle der:

> Bu deneyim bana aynı zamanda - bence dikkate değer - bir gerçeği öğrenme fırsatı sağladı: Yeni bir bilimsel gerçeklik ona karşı çıkanları ikna ederek ve onların ışığı görmelerini sağlayarak değil, ona karşı çıkanlar en sonunda öldükleri ve ona aşina yeni bir nesil büyüdüğü için galip gelir.[3]

Örnek olarak, Ptolemaios'un (Claudius Ptolemy, MÖ 127-145) Dünya'yı merkez alan evren modeli ile Kopernik'in (Nicholas Copernicus, 1473-1543) Güneş'i evrenin merkezine koyan modeli arasındaki sorunu tek başına gözlemin halletmediğini göreceğiz. Tek başına gözlem değilse, bilim adamlarının rakip kuramlar arasında karar vermelerini sağlayan başka ölçütler nelerdir o halde? Belli bir açıklama tasarrufu, biçimsel bir simetri ve formüle ediş güzelliği her zaman önemli etkenler olmuşlardır. Bunlar nicelendirilemeyecek estetik konulardır ve evrensel olarak üzerlerinde anlaşılmış değildirler. Bazıları için güzelliği keşfetmek ve simetri hissi bilimin sonudur ve onu yapmanın nedenidir. Bu kitapta bu sorulara sık sık geri döneceğiz.

3.6 Bilimsel Bilgi ve Gerçek

Bilimin mutlak nesnelliği ve kesinliği şimdi biraz kuşkuya yer vermiş olsa da, her şeye karşın bilimin hâlâ gerçeği hem arayıp hem de bulduğuna inanıyor olabilirsiniz. Bu açık mıdır peki? Fiziksel dünyayla ilgili verilen bir modelin ya da kuramın doğru olduğundan asla emin olamayacağımız için, böyle kuramların doğru olduklarını söyleyebilir miyiz? Daha önce de vurguladığımız gibi, bir kuramın ya da önermenin gerçeklenmesiyle çürütülmesi arasında önemli bir asimetri vardır. Çürütme, mantıksal olarak, kesin ve geçerli bir sonuç çıkarmadır, çünkü bir kez öngörü (ya da izleyen sonuç) reddedilince, kuram da (ya da önce gelen de) reddedilmelidir. Ancak, gözlenen fiziksel olaylarla öngörülerinin uyuşmasından bir kuramın doğruluğunu kuracak mantıksal olarak geçerli yollar yoktur. (Yalnızca sonlu sayıda mantıksal olarak olası açıklamanın olduğu ve bunlardan, diyelim gözlemle, biri dışında diğer hepsinin çürütüldüğü gösterilebilseydi, o zaman buna bir istisna olurdu. Ancak bu karmaşık, gerçekçi durumlarda çok enderdir.) Bir kuram (mutlak ve evrensel olarak geçerli bir doğa yasasını gerçekten içermesi ve tek başına bu yasayı açıklaması anlamında) doğru olsa bile, onun doğru olduğunu bilemezdik. Böyle kuramlar aslında insan aklının doğayı temsil etmekte kullandığımız kurgularından başka birşey değil midirler? Bilimsel kuramlar doğa hakkında gözlenmiş gerçekleri açıklamanın değil, bunları yalınlaştırma ve sistemli olarak toplamanın bir yolu olarak alınabilirler.

1941 yılında verdiği *Kesin Bilimin Anlamı ve Sınırları* isimli seminerde Planck, bilimin görevinin çok çeşitli duyu deneyimleri yığınına bir düzen getirmek olduğundan söz etti. Duyu deneyiminin bireysel verilerinin çok güvenilir olmalarına karşın, sınırlı önemleri olduğunu gözlemledi. Kendimizi bu çeşitli yüzey olaylarının temelinde yatan ve bunları birleştiren gerçek bir dünyanın varlığını postüle etmeye zorunlu hissederiz. Bu inanç bilimin indirgenemez, gösterilemez ama vazgeçemeyeceğimizi hissettiğimiz bir öğesini oluşturur. Planck'a göre bilim, deneyimlerimizin bilimsel bir dünya resmini yapabilmek ve bundan nesnelerin gerçek dünyası dediği, asla tamamen bilinemez,

temel, metafiziksel gerçekliği anlayabilmek için fenomenolojik (ç.n. fenomenoloji: gerçekliğin, insan bilincinde algılandıkları ya da anlaşıldıkları halleriyle, eşyalardan ve olaylardan oluştuğu noktasına dayanan felsefe ya da araştırma yöntemi) dünyayı çalışır. Bu metafiziksel gerçek dünyaya, fenomenolojik dünya resmimizi geliştirdikçe yaklaşırız. Planck'm nesnelerin gerçek metafiziksel dünyası 1. Konu'da bahsettiğimiz Platon'un formlar ya da özler dünyasına benzerdir.

Bu ilk üç konuda sunduğumuz haliyle, bilimsel bilgi kavramının evrimine ve konumuna kısa bir geçmişi de kapsayan bakış atacak olursak, önemli gelişmeleri aşağıdaki düşünürler dizisiyle ilişkilendirebiliriz.

Platon, Aristo→Bacon, Descartes→Galilei, Newton→Hume, Mill→Popper, Quine

Kanıt gerekmeksizin doğru ilk ilkelerden tümdengelimi (Aristo, Descartes) ya da su götürmez genel yasalara ulaştıracak dikkatli tümevarımı (Bacon) temel alarak, kesin bilgiye varılması ve doğadaki olayların anlaşılması için çıkılan arayış ulaşılamaz olduğu için bugün terkedilmiştir. Modern bir düşünür, bu ulaşılabilir kesin bilgi ereğini Bacon-Descartes ideali diye adlandırmıştır.[4] Bu programın temel sorunu, ilk ilkelere (ya da genel yasalara) ulaşmak için sezgiye, tümevarıma ya da ikisinin birleşimine dayanan mantıksal olarak geçerli hiçbir yolun bulunmamasıdır. İçerik artıran bir mantık (ya da tümevarım mantığı) yoktur. Tümdengelimsel mantık yalnızca etrafta önceden (saklı olarak) bulunagelen ifadeleri arayıp bulmamıza izin verir. Sonuç (orada etraftakilerden daha yararlı olsa ya da daha kolay farkına varılabilse de) etrafta bulunagelenlerden daha fazla gerçeklik ya da bilgi içermez. Bu felsefi gelişmelerin eğilimi, bilimsel bilgi için iddia edebileceğimiz kesinlikte bir azalma olmuştur. Bilimsel kuram adaylarının doğru olduklarını kanıtlamayı değil, onları yalnızca çürütmeyi umabiliriz. Bu bakış açısından başarılı, kabul gören bilimsel kuramlarımız dünyanın 'gerçekten' ne olabileceği hakkında tutarlı, ama 'doğru' olması gerekmeyen, öykülerdir. Bir sonraki konuda gerçek bilimsel uygulamalar tarihinin bizi bilimsel kuramların durumunu böyle bir değerlendirmeye doğru nasıl yönelttiğini incelemeye başlayacağız.

3.A Hume, Mill ve Popper'ın Bilimsel Bilgi Üzerine Görüşleri

İnsan Zihni Üzerine Bir Araştırma adlı eserinde Hume neden-sonuç kavramlarını tartışır.

> Güç fikrini ya da gücün elde edilebileceğini zannettiğimiz kaynaklardaki gerekli bağlantıyı boşu boşuna aradık. Görünüşe göre, cisimlerin işleyişinde tek başına alınan anlarda, en dikkatli incelememizde bile, nedenin işlemesini sağlayan kuvvet ya da gücü ya da nedenle ondan çıkan sonuç arasındaki bağlantıyı da anlayamadan, biri diğerini izleyen olaylardan başka birşey keşfedemiyoruz... Bütün olaylar tamamen serbest ve ayrı gözükür. Bir olay diğerini izler; ama asla aralarında bir bağ göremeyiz. Birbirlerine *birleştirilmiş* gibidirler, ama asla *bağlanmış* gibi durmazlar. Ve dış duyularımıza ya da iç sezgilerimize hiç gözükmemiş bir şey hakkında hiçbir fikrimiz olamayacağı için, çıkarmamız gereken sonuç bağlantı ya da güç hakkında hiçbir fikrimizin olmadığı gibi *duruyor* ve bu sözcüklerin gerek felsefi akıl yürütmelerde gerekse normal hayatta kullanılırlarken kesinlikle hiçbir anlamları yoktur.
>
> . . .
>
> Belirli bir olayın bir başkasını izlediğini gözlemlediğimiz bir durumdan ya da bir deneyden sonra bile genel bir kural çıkarmaya ya da benzer durumlarda neler olacağını önceden söylemeye yetkimiz - bir tek deneyden doğanın izleyeceği bütün rotayı, ne kadar doğru ya da kesin olursa olsun, çıkarmaya yeltenmek haklı olarak affedilmez bir cüretkârlık sayılacağı için - yoktur. Ama belirli bir olay türü her zaman, her durumda, bir diğeriyle birleştirilmişse, birinin gerçekleşmesinden bir diğerinin de olacağını önceden söylerken ve böyle akıl yürütürken, ki yalnızca bu bizim her tür gerçeklikten ya da varoluştan emin olmamızı sağlar, artık hiç kuşku duymayız. O durumda cisimlerden birini *Neden*, diğerini de *Sonuç* diye adlandırırız. Aralarında bir bağlantı olduğunu; birinde bir güç olduğunu, bu güçle hiç şaşmadan diğerini oluşturduğunu, en büyük kesinlikle ve en katı gereklilikle işlediğini düşünürüz.
>
> O halde olaylar arasında gerekli bir bağlantı olduğu fikri, bu olayların değişmez birlikteliğiyle oluşan birtakım benzer durumların gözlenmesinden doğar; ancak bu fikir bu durumlardan her açıdan ve her bakımdan incelenmiş herhangi biri tarafından yalnız başına akla getirilemez. Ama tamamen benzer olduğu düşünülen birtakım durumda her tek durumdan fark-

lı olan hiçbir şey yoktur; yalnızca benzer durumların tekrarından sonra aklın alışkanlıkla bir olayın oluşmasından ondan sonra gelecek olanı beklemesi ve onun var olacağına inanması dışında. Dolayısıyla aklımızda *hissettiğimiz* bu bağlantı, hayalgücündeki bir cisimden onu her zaman izleyene olan bu alışılmış geçiş, güç ya da gerekli bağlantı fikrini oluşturduğumuz sezgi ya da izlenimdir. Bu durumda daha fazla birşey yoktur. Konuyu her bakımdan ayrıntılı olarak düşünün; bu fikrin başka bir çıkış noktasını bulamazsınız. Bağlantı fikrini asla alamayacağımız tek bir durumla, onu akla getiren birtakım benzer durumlar arasındaki tek fark budur.

. . .

O halde nedeni, *bir diğeri tarafından izlenen ve ilkine benzer bütün cisimlerin ikincisine benzer cisimlerce izlendiği bir cisim* olarak tanımlayabiliriz. Ya da bir başka deyişle *ilk cisim hiç olmadıysa ikincisi asla var olmamıştır.* Bir nedenin oluşması, alışılmış bir geçişle, akla her zaman sonuç fikrini getirir. Bununla da deneyimimiz vardır. O halde, bu deneyime uygun olarak, neden için yeni bir tanım verebiliriz ve ona *bir başka cisimce izlenen ve oluşması düşünceyi her zaman ötekine götüren cisim* diyebiliriz.[5]

Mantığın Sistemi adlı eserinde Mill tümevarım problemini inceler.

Tümevarımın ne olduğu ve dolayısıyla hangi şartlarda geçerli olduğu, mantık biliminin temel sorusu - diğerlerinin hepsini içeren soru - olarak nitelendirilmelidir.

. . .

Eldeki incelemede kullanmak üzere Tümevarımı, genel önermeleri keşfetme ve kanıtlama işlemi diye tanımlayabiliriz.

. . .

Tümevarım bir önceki konuda nitelendirmeye çalıştığım, bazen - uygun olmasa da - bu isim kullanılarak sözü edilen diğer akıl işlemlerinden ayrı olarak, uygun şekilde özet olarak deneyimlerden yapılan genellemeler diye tanımlanabilir. Bir olayın oluşumunun gözlemlendiği bazı ayrı durumlardan bu olayın belli bir sınıftaki tüm durumlarda oluştuğu sonucunu çıkarmaktan oluşur; bu sınıfta, adına maddi koşullar denen hallerde, hepsi daha önce söz edileni *andıran* durumlar bulunur.

Maddi koşulların maddi olmayanlardan ne yolla ayırt edileceklerini, ya da neden bazı koşulların maddi olduğunu ve diğerlerinin olmadığını belirtmeye daha hazır değiliz. Öncelikle Tümevarımın ne olduğunu belirten ana ifadenin bir ilke içerdiğini gözlemlemeliyiz; doğanın izlediği yolla ve evrenin düzeniyle ilgili bir varsayım: Doğada paralel haller denen şeyler vardır; bir kere olan, koşullar yeterli derecede benzediğinde bir daha olacaktır ve yalnızca bir kere değil, ama her zaman olacaktır. Bu tümevarımın her halinde içerilen bir varsayımdır diyorum. Ve doğanın izlediği gerçek yola danışırsak, bu varsayımın desteklendiğini buluruz; gerçek böyledir. Evren böyle kurulmuştur, bir durumda doğru olan her neyse belirli bir tanımlamadaki tüm durumlarda da doğru olduğunu buluyoruz; tek zorluk hangi *tanımlama* olduğunu bulmaktadır.
Deneyimlerden sonuçlar çıkarmamızın güvencesi olan bu evrensel gerçek, değişik düşünürlerce değişik dil formlarında betimlenmiştir; doğanın izlediği yol değişmezdir; evren genel yasalarca yönetilmektedir ve benzerleri.

. . .

Şimdi ele aldığımız ilke, doğanın izlediği yolun değişmezliğiyle ilgili olan, tüm tümevarımların en temel büyük öncülü diye gözükecektir ve dolayısıyla, uzun uzadıya gösterildiği gibi, bir silojizmin ana önermesinin her zaman sonuca karşı hazırlıklı olması ilişkisindeki gibi tüm tümevarımlara karşı hazırlıklıdır; onu kanıtlamaya hiçbir katkısı bulunmaz, ama kanıtlanabilmesi için gerekli bir koşuldur; çünkü gerçek bir büyük öncülü bulunmayan hiçbir sonuç kanıtlanmış değildir.[6]

Varsayımlar ve Çürütmeler adlı eserinde Popper yanlışlama kavramını tartışır.

Bu yüzden daha önce hiç yapmadığım birşeyi yapmaya karar verdim: sizlere bilim felsefesi konusunda ilk kez 1919 güzünde '*Bir kuram ne zaman bilimsel olarak değerlendirilmelidir?*' ya da '*Bir kuramın bilimsel karakteri ya da konumu için bir ölçüt var mıdır?*' sorusuyla boğuşmamla başlayan kendi çalışmalarım hakkında bir rapor sunmak.

. . .

Sorumun çok büyük bir kesimce kabul edilen yanıtını tabii ki biliyordum: Bilim sahte bilimden – ya da metafizikten – temelde *tümevarımsal* olan, gözlem ya da deneyden gelen *ampirik yöntem*iyle ayırt edilir. Ama bu yanıt beni tatmin etmiyordu. Tersine, problemimi sık sık

gerçek ampirik yöntemle ampirik olmayan ya da hatta sahte ampirik bir yöntemi - demek istediğim, gözleme ya da deneye başvursa bile yine de bilimsel standartlara uymayan bir yöntem - ayırt etmek diye formüle ediyordum. Bu sonuncu yönteme örnek olarak - horoskoplara ve biyografilere - gözleme dayanan çok büyük ampirik kanıtlar yığınıyla, astroloji verilebilir.

Ama beni problemime götüren astroloji örneği olmadığı için, belki problemimin ortaya çıktığı atmosferi ve onu teşvik eden örnekleri kısaca betimlemeliyim. Avusturya İmparatorluğu'nun çöküşünden sonra, Avusturya'da bir devrim olmuştu; ortam devrimci sloganlarla ve fikirlerle, yeni ve genellikle çılgın kuramlarla doluydu. Beni ilgilendiren kuramlar içinde Einstein'ın görelilik kuramı hiç kuşkusuz en önemli olanıydı. Diğer üçü Marx'ın tarih kuramı, Freud'un psikanalizi ve Alfred Adler'in 'bireysel psikoloji' denen kuramlarıydı.

. . .

Arkadaşlarım arasında Marx'ın, Freud'un ve Adler'in hayranı olanların bu kuramlarda ortak olan bir takım noktalardan ve özellikle bu kuramların açıkça belli olan *açıklama güç*lerinden etkilendiklerini fark ettim. Bu kuramlar söz ettikleri alanlarda olan hemen hemen her şeyi açıklayabilirmiş gibi duruyorlardı. Herhangi birini çalışmak, entelektüel bir dönüşüm ya da aydınlanma etkisi yaratıyor, o ana kadar 'üyeliğe kabul edilmemişlerden' gizlenen yeni bir gerçeğe gözlerinizi açmışsınız duygusu veriyordu. Bir kere gözleriniz böyle açıldıktan sonra, her yerde bu kuramları gerçekleyen durumlar görüyordunuz: Dünya kuramın *doğrulanması* ile doluydu. Olan her şey onu her zaman onaylıyordu. Dolayısıyla doğruluğu apaçık gözüküyordu ve ona inanmayanlar besbelli açık gerçeği görmek istemeyen insanlardı; bunu görmeyi reddediyorlardı, çünkü ya kuram ait oldukları sınıfın çıkarlarına aykırıydı ya da hâlâ 'analiz' edilmemiş ve tedavi edilmek için yardım çığlığı atan baskıları vardı.

. . .

Einstein'ın kuramındaysa durum çarpıcı bir biçimde farklıydı. Tipik bir örneği ele alın - tam o sırada Eddington'un yolculuklarında bulduklarıyla doğrulanan Einstein'ın öngörüleri. Einstein'ın kütleçekim kuramı, ışığın (Güneş gibi) ağır cisimlerce, aynı maddesel cisimlerin çekildikleri gibi çekilmesi gerektiği sonucunu doğurmuştu. Bunun sonucu olarak, görünürdeki konumu Güneş'e yakın olan uzaktaki bir sabit yıldızın ışığının Dünya'ya, yıldızı sanki Güneş'ten çok az yana kaymış gibi gösteren bir yönden geleceği

hesaplanmıştı; ya da, bir başka deyişle, Güneş'e yakın olan yıldızlar sanki Güneş'ten ve birbirlerinden biraz uzaklaşmış gibi görüneceklerdi.

. . .

Şimdi bu durumdaki etkileyici şey, bu tip bir öngörünün içerdiği *risk*tir. Eğer gözlemler öngörülen sonucun kesinlikle olmadığını gösterirse, kuram tek kelimeyle çürütülmüştür. Kuram *belirli olası gözlem sonuçlarıyla* - aslında Einstein'dan önceki herkesin bekleyeceği sonuçlarla - *uyuşmamaktadır*. Bu, daha önce anlattığım, sözünü ettiğim kuramların en aykırı insan davranışlarıyla bile uyuşuyor göründüğü, dolayısıyla bu kuramları gerçeklemediği iddia edilebilecek bir insan davranışını tanımlamanın pratikte olanaksız olduğu durumdan tamamen farklıdır.

. . .

Bütün bunları *bir kuramın bilimsel statüsünün ölçütü yanlışlanabilirliği, ya da çürütülebilirliği, ya da test edilebilirliğidir* diyerek özetleyebiliriz.[7]

Yararlı Kaynaklar

Ralph Blake ve diğerlerinin *Bilimsel Yöntemin Kuramları* bu konunun Rönesans'tan on dokuzuncu yüzyıla kadar güzel bir özetini verir. Karl Popper'ın *Varsayımlar ve Çürütmeler*'i (yanlışlanabilirlikle) 'hatalarımızdan bazı şeyler öğrenebiliz' konusunda yazılar ve dersler içerir ve bu tezi bilimsel bilgi üzerine felsefi konumlardan oluşan geniş bir tarihsel zemine oturtur. Baruch Brody'nin *Bilim Felsefesinde Okunacak Metinler*'i önemli modern bilim felsefecilerinin, bilimsel açıklama ve öngörüler, bilimsel kuramların yapıları ve işlevleri ve bilimsel hipotezlerin doğrulanmaları konularındaki makalelerinin bir derlemesidir.

Bölüm II

Antik ve çağdaş evren modelleri

Doğal olarak ivmelenen hareketi incelememizde, sanki elimizden tutulmuş gibi, doğanın diğer bütün çeşitli işlemlerinde, kendi geleneğini ve alışkanlıklarını izlerken, doğanın yalnızca en yaygın, basit ve kolay araçlarını kullanma yolunu seçtik.

. . .

Hızdaki küçük değişikliği zamandaki küçük değişikliğe orantılı alırsak çok yanılmış olmayacağız; dolayısıyla şimdi anlatmak üzere olduğumuz hareketin tanımı şöyle verilebilir: Hareketsiz halde başladığında, eşit zaman aralıklarında eşit hız artışları kazanan bir harekete sabit ivmeli hareket denir.

. . .

Hakkında çeşitli düşünürler tarafından çeşitli görüşler belirtilmiş olan doğal hareketin ivmesinin nedenini incelemek için şu an uygun bir zaman gibi durmuyor; kimileri bunu merkez tarafından çekimle, diğerleri cismin çok küçük parçaları arasındaki itmeyle açıklamış, kimileri de düşen cismin arkasından kapanan ve onu bir konumundan bir diğerine süren, cismi çevreleyen ortamdaki belirli bir gerilime yormuşlardır. Şimdi, tüm bu fanteziler ve tabii diğerleri de incelenmelidirler; ama aslında buna zaman harcamaya değmez. Şu anda Yazarınızın amacı, yalnızca ivmelenen hareketin (ivmenin nedeni her ne olursa olsun) bazı özelliklerini göstermek ve bunları incelemektir.

Galileo Galilei, *İki Yeni Bilim Üzerine Söyleşiler*

Şimdi, tıpkı dünyanın tüm parçalarının karşılıklı olarak bütünü oluşturmak için işbirliği yapmaları gibi, dolayısıyla en uygun şekilde birleşebilmek bakımından bir araya gelebilmek için eşit eğilimleri olduğu ve kendilerini küresel bir şekil alarak buna uyarladıkları sonucuna bakarak, Güneş'in, Ay'ın ve başka dünya

cisimlerinin (ç.n.: Galilei bu sözle yıldızları, gezegenleri kastediyor.) şekillerinin de benzer biçimde, yalnızca uyum içinde bir içgüdüyle ve bütünü oluşturan tüm parçalarının doğal eğilimleriyle yuvarlak olduğuna neden inanamayalım? Herhangi bir anda bu parçalardan biri zorla bütünden ayırılmış olsaydı, o parçanın doğal bir eğilimle ve anında geri döneceğine inanmak mantıklı değil midir? Bu şekilde, düzgün hareketin tüm dünya cisimleri için eşit olarak uygun olduğu sonucuna varmalıyız.

. . .

[Dünyadaki] fırlatıcının (ç.n.: fırlatıcı ile Galilei, fırlatılan cismi atan mekanizmayı kastediyor.) dairesel hareketi, fırlatılan cisme, ayrıldıklarında, hareketin çemberine ayrılma noktasında teğet olan düz doğru boyunca hareket etme güdüsü dayatır... Bu doğru, cismin kendi ağırlığıyla aşağıya eğilmeseydi - ki cismin izlediği yolun eğriliği bu yüzdendir - fırlatılan cisim, bu doğru boyunca hareket etmeye devam ederdi.

Galileo Galilei, *Başlıca İki Dünya Sistemi Üzerine Söyleşi*

4

Gözleme Dayalı Gökbilim ve Ptolemaios'un Modeli

Bu kitabın temel bir varsayımı, bilim hakkındaki genel felsefi tartışmaların, gerçek bilim tarihinden ayrıntılara dayanması gerektiğidir. Bu nedenle, önce çok eski insanlar tarafından kabul edilmiş evren modelini ele alarak başlayacağız ve daha sonra bu olayın felsefi olarak ne gibi dolaylı sonuçlar doğurduğunu inceleyeceğiz. Bu konuda eski çağlardaki insanların çıplak gözle yapabildikleri gözlemlerin bir özetini ve bu verileri kullanarak inşa ettikleri evren modelinin genel hatlarını sunacağız.[1] Ardından bir sonraki konuda, bu görüşü yıkan günümüz kuramının bir tarifini vereceğiz. 12. Konu'da bu değişimin gerektirdiği felsefi bakış açısındaki büyük sapmayı, bu devrimin önemli habercilerinin ve onu şekillendirenlerin bazı katkılarını da derinlemesine tartışacağız.

4.1 Temel Gözlemler

Dünyanın hareketsiz olarak resmedildiği antik evren modelini tartışmanın değerini anlayabilmek için gerekli uygun akıl çerçevesine girebilmek için, Dünya'nın Güneş çevresinde hareket ettiğini ve ekseni etrafında döndüğünü 'bilen' günümüz okuru aşağıdaki soruyu sorabilir: Dünya'nın Güneş çevresinde bir yörüngede olduğunu ve

kendi ekseni etrafında döndüğünü nasıl gösterirsiniz? Uydu fotoğraflarını kullanmadan, yalnızca çıplak gözle yapılabilecek gözlemleri kullanın. Bu sorunun o kadar da kolay olmadığını göreceksiniz. Belki böylece antik çağlardaki insanların evren üzerine görüşleri size daha az tuhaf görünecektir.

Modern ya da eski çağlarda, yaşam hakkında pek bilgili olmayan bir gözlemci için bile en açık gerçek, Güneş'in her gün doğup battığı ve mevsimlerin tekrar ederek değiştiğidir. Eğer bir direği ya da uzun bir sırığı dikey bir doğrultuda ya da bir çekülü ipi boyunca yere dikerseniz, onun güneş altındaki gölgesinin birçok önemli özelliğini gözlemleyebilirsiniz. Gün ilerledikçe, gölgenin hem uzunluğu hem de yönü değişir; gölgesi sabah erken ve akşam geç vakitte en uzundur ve gün ortasında en kısadır. (Gölgenin ucunun izlediği eğrinin ayrıntılı şekli burada bizi ilgilendirmiyor.) Yine de en kısa gölgenin yönü her gün aynıdır. Yani, bir gün en kısa gölgenin ucunu yere işaretlesek ve izleyen günlerde de bunu yinelesek, bütün bu işaretler aynı düz doğru üzerinde olacaklardır. Bu, gözlemcinin iki referans noktası tanımlamasını sağlar: En kısa gölgenin işaret ettiği sabit yön *kuzey* (dolayısıyla doğu, güney ve batı yönleri de kuzeye bakarak bildiğimiz pusula yönleri) diye ve en kısa gölgenin oluştuğu an da *öğle* diye alınabilir. (Bunlar ve burada sunacağımız birkaç başka sonuç kuzey yarıkürede bulunup ekvatora çok yakın olmayan bir gözlemcinin göreceği şeylerdir. Fakat kayıtlarına ulaşabildiğimiz antik uygarlıkların büyük kısmı kuzey yarıkürenin böyle bölgelerinde yaşamışlardır.) Birbirini izleyen öğleler arasında geçen zaman *ortalama güneş günü* diye aldığımız güneş gününü tanımlamak için uygun bir araçtır. Biraz daha gözlem yaparak, dikey sırığın gölgesinin gün boyunca batıdan doğuya doğru genel bir yönde ilerlediğini görürüz. Gölgenin ucu, yılda yalnızca iki gün boyunca batıdan doğuya çekilmiş ideal düz doğru üzerinden geçer. Bu günler *ilkbahar* (modern takvimlerimizde yaklaşık olarak 21 Mart) ve *sonbahar* (yaklaşık 23 Eylül) *ekinoks*larıdır. Bu günler, sırasıyla, ilkbaharın ve sonbaharın başlangıcını belirtirler. Bu iki tarihte gece ve gündüzün süresi her zaman eşittir. Dahası, öğle gölgesinin diğer herhangi bir gündekinden daha

uzun olduğu bir gün vardır. Bu (yaklaşık 22 Aralık) *kış gündönümü*dür. Kışın başlangıcını belirtir ve bu günde gece en uzun ve gündüz de en kısa süredir. *Yaz gündönümü* (yaklaşık 22 Haziran) yazın başlangıcıdır ve bu günde öğle gölgesi diğer herhangi bir gündekinden daha kısadır, gece en kısa ve gündüz en uzun süredir.

O halde bir yıl, bir ilkbahar ekinoksu ile bir sonraki arasında geçen zaman süresi olarak tanımlanabilir. Ne yazık ki, böyle bir yıldaki günlerin tam sayısı, ilkbahar ekinoksu her zaman aynı tarihte oluşmadığı için, yıldan yıla tam olarak aynı değildir. Güneş takvimindeki bu sorun, yazılı tarihin başlangıcından, on altıncı yüzyıla kadar gökbilimcileri rahatsız etmiştir. Çeşitli antik toplumlar bu sorunla değişik yollarla baş etmişlerdir. Bazıları için doğal bir başlangıç noktası (herhalde, ayın kabaca otuz günlük periyodu ve bir yılda on iki ay seçimini izleyerek) 360 günlük bir yıldı. Bununla birlikte, böylesi hatalı bir takvimle, mevsimler yıldan yıla hissedilir biçimde kayıyordu. Bunu düzeltmek için Mısırlılar, 365 günlük bir yıl yapmak için beş günlük bir tatil devresi eklediler. Bu takvim, sonunda Roma İmparatorluğu'nun mirasının bir parçası haline geldi. MÖ 46'da Julius Caesar (Sezar, MÖ 100-44) 365 günlük üç yılın 366 günlük bir artık yılla izlenmesi yöntemiyle bu takvimi 365 1/4 günlük bir yılla daha da iyileştirdi. Bir güneş yılı 365 1/4 günden yaklaşık olarak yalnızca 11 dakika daha kısa olduğu için, Julian takvimiyle mevsimlerdeki kayma çok azdı. Yine de on altıncı yüzyıla gelindiğinde, ilkbahar ekinoksu 21 Mart'tan 11 Mart'a kadar geri gitmişti. Bu, Papa XIII. Gregory (1502-1585) için endişe verici bir şeydi; çünkü Paskalya Yortusu ilkbahar ekinoksunu izleyen ilk dolunaydan sonraki ilk Pazar günü olarak belirlenmiştir ve diğer tüm yıldan yıla değişen Kilise bayramlarının tarihleri Paskalya Yortusununkine bağlıdır. Hem kilisenin hem de sivil bir takvimin olduğu ve bunların işlevlerinin bu kadar iç içe geçtiği bir toplumda, Paskalya Yortusunu kışa ve Noel'i sonbahara ya da yaza geri kaydırmak diye bir şey olamazdı. Gregoryen takvimi ilk olarak 1582'de Büyük Gregory'nin 4 Ekim 1582'den sonraki günün 15 Ekim 1582 olacağını buyurmasıyla Hıristiyan Avrupası'na getirildi. Bu takvimde, artık yıl, her yüze bölünebilir (sonu 00'la biten) ama

400'e bölünemez yılda yok sayılır. Dolayısıyla, 1700, 1800 ve 1900 yıllarında bırakılmıştı, ama 2000 yılında bırakılmayacak (ç.n.: bırakılmadı). Takvim reformuna duyulan bu ivedi gereksinim, ortaçağ evren kavramındaki Kopernik devrimine neden olmakta rol oynamıştır.

4.2 Gökküre

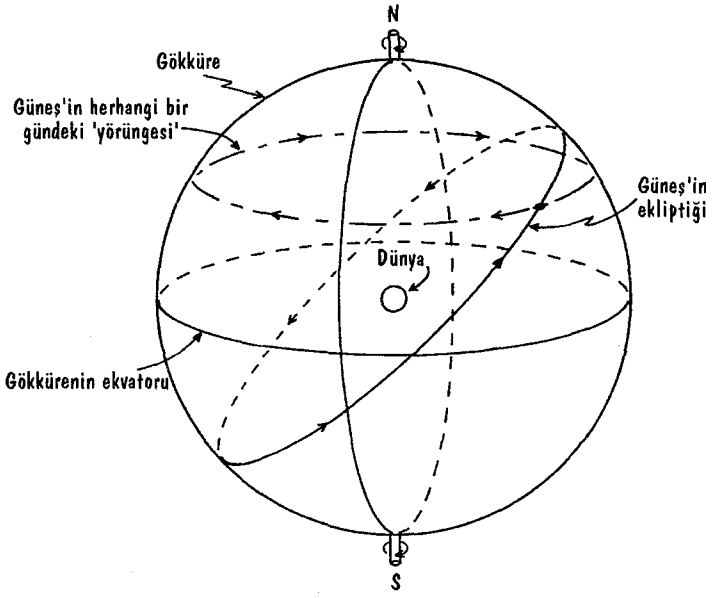
Güneş'in gökyüzündeki günlük hareketine ek olarak, yıldızların da gökyüzünde günlük hareketi ve yıldızların oluşturduğu arka plana göre de Güneş'in hareketi vardır. Yıldızlarla başlayalım ve orta-kuzey boylamlarındaki uygun bir gözlem noktasından, açık bir gecede yıldızları izleyen birinin neler göreceğini ele alalım. Gökteki konumu, herhangi bir gece boyunca ve geceden geceye sabit kalan bir yıldız vardır: Polaris (Kutup Yıldızı ya da Kuzey Yıldızı). Boylam, Kutup Yıldızı'nın dünyadaki gözlem noktasındaki ufka göre yüksekliği olarak tanımlanır. Kuzey boylamlarında yaklaşık 45° civarında temsili bir yükseklik alalım, örneğin, Paris 41°, Londra 51°, New York 41°, Chicago 42° ve Los Angeles de 34°dir. Gökteki tüm yıldızlar Kutup Yıldızı merkezli çemberlerin yayları boyunca saatte 15° hızla, batı yönünde dönerek hareket ederler. Kutup Yıldızı merkezli ve gözlemcinin ufkuna teğet olan daire içinde kalan yıldızlara kutup etrafında olan yıldızlar denir ve bunlar her zaman (gündüz saatlerinde Güneş'in parlaklığı nedeniyle görünürlük çok zor olsa da) gökyüzündedirler. Bu dairenin ötesindeki yıldızlar her akşam doğar ve batarlar. Kuzeye doğru gittikçe, kutup etrafında olan bu dairenin boyu artar. Yıldızlar hakkındaki en önemli tek gerçek, Kutup Yıldızı'na göre ya da birbirlerine göre olan konumlarının sabit kaldığıdır. Örneğin Büyük Ayı gece boyunca döner ama şekli aynı kalır. Yıldızların şablonu Kutup Yıldızı etrafında aynı hızla (saatte 15°) dönen bir fotoğraf gibidir. Bu nedenle *sabit yıldızlar*dan söz ederiz. Yıldızların şablonu ve gökyüzündeki yolculukları geceden geceye hiç değişmeden tekrarlandığı için, eski çağlarda yaşayan insanların yıldızların, merkezinde dünya olan ve sabit hızda dönen dev bir küre (*gökküre*) üzerinde bir kalıba yerleştirildiklerini neden doğal olarak varsaydıkları açıktır

(Bakınız Şekil 4.1). Gökkürenin dönüşü yönünde döndürülen bir sağ-yivli vida, ekseni boyunca *N*'den (kuzeyden) *S*'ye (güneye) doğru ilerleyeceği için, gökkürenin dönüşünün *N*'den *S*'ye doğru olduğunu söyleriz. Gökküre, günde (aslında, birazdan göstereceğimiz gibi, 23 saat 56 dakikada) bir kere döner.

Güneş'in gökyüzündeki görünen hareketi yıldızlarınki kadar basit değildir. Güneş'in sabit yıldızlara göre konumu günden güne değişir. Bir büyük çember, küre üzerine çizilen ve merkezi kürenin merkezi olan çemberdir. Güneş'in gökküre üzerine alınan izdüşümünün, çeşitli takımyıldızlar arasından doğuya doğru yolculuğu sırasında izlediği büyük çembere *ekliptik* denir. Bu, Güneş'in gökyüzündeki sabit yıldızların oluşturduğu arka planda görünürde izlediği yıllık yoldur. Güneş'in gökkürede sabitlenmiş bu ekliptik etrafında hareketi bir yıl sürer. Gökküre (ve Güneş), günde bir tam dönüş hızıyla batı yönünde dönüyor diye resmedilmişti, oysa Güneş'in ekliptik boyunca doğu yönünde çok daha yavaş başka bir hareketi de vardır. Öğle (ve dolayısıyla gün, saat ve dakika) Güneş'in konumuyla tanımlandığı için ve Güneş her gün gökküredeki yıldızların

$$\frac{24 \text{ saat}}{365 \text{ gün}} \times \frac{60 \text{ dakika}}{1 \text{ saat}} \cong 4 \text{ dakika/gün}$$

gerisinde kaldığı için, gökküre, Dünya etrafında bir tam dönüşü bir günden 4 dakika daha az bir sürede tamamlıyor gibi gözükür. Aslında, bir *yıldız günü*, Aries'in (Koç) ilk noktasının herhangi bir yerin yukarıdaki enleminin (yıldızın geçişindeki en yüksek nokta) üzerinden iki ardışık geçişi arasındaki zaman olarak tanımlanır. Bir yıldız günü, amaçlarımız için yeterli doğrulukta, 23 saat 56 dakika ortalama güneş zamanına eşittir. Herhangi bir günde, Güneş gökyüzünde dairesel bir yol izler, ama Güneş ekliptik boyunca gökküredeki konumunu değiştirdiği için, dairenin boyu günden güne değişir (Şekil 4.1'de Güneş için kesik çizgilerle gösterilen dairesel yörüngeye bakınız). Güneş'in gökyüzündeki yüksekliğindeki bu değişim, mevsimlerdeki değişime karşılık gelen öğle gölgesinin uzunluğundaki değişimi açıklar.

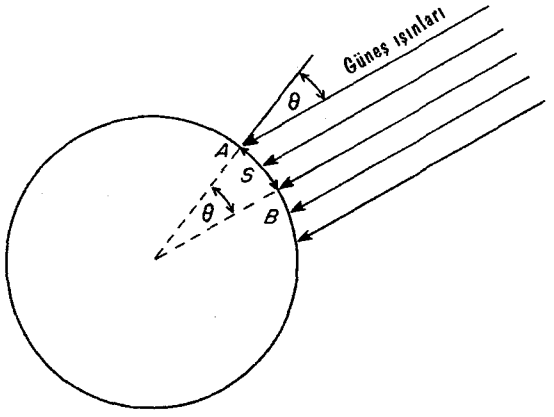


Şekil 4.1. İki-küre modeli: Gökkürenin merkezindeki küresel Dünya

Tarihin en başından beri takımyıldızlar tanımlanagelmişlerdir. *Takımyıldız*, bir nesnenin ya da yaratığın adı verilmiş yıldız grubu için kullanılan terimdir. Antik çağlarda Zodyak'taki (burçlar kuşağı) on iki takımyıldız, ekliptiği on iki eşit parçaya bölmek için kullanılmıştı. Bunların sayıları ve isimleri, Güneş'in ekliptik boyunca doğuya doğru yolculuğu sırasında bu takımyıldızlara girdiği tarihlerle birlikte Tablo 4.1'de verilmektedir. Güneş'in ekliptiği boyunca, konumuyla (yani, belirli bir takımyıldızda olmasıyla) yılın mevsimleri arasındaki karşılıklı ilişki, mevsimlerin çeşitli takımyıldızlarca kontrol edildiği şeklinde yorumlanmıştı ve astrolojinin kökenlerinden biriydi. MS İkinci yüzyıla gelindiğinde, 1022 yıldızdan oluşan, 48 takımyıldızı içeren bir katalog oluşturulmuştu. Liste, Zodyak'ın on iki takımyıldızını da içeriyordu. Bu katalog Rönesans'a kadar geçerli kaldı. 1930'da Uluslararası Gökbilimciler Birliği, tüm gökyüzünü kaplayan 88 takımyıldız tanımladı.

Tablo 4.1. *Zodyak'ın takımyıldızları*

No.	Ad	Tarih	No.	Ad	Tarih
1	Aries (Koç)	21 Mart	7	Libra (Terazi)	23 Eylül
2	Taurus (Boğa)	20 Nisan	8	Scorpio (Akrep)	24 Ekim
3	Gemini (İkizler)	21 Mayıs	9	Sagittarius (Yay)	22 Kasım
4	Cancer (Yengeç)	22 Haziran	10	Capricorn (Oğlak)	22 Aralık
5	Leo (Aslan)	23 Temmuz	11	Aquarius (Kova)	20 Ocak
6	Virgo (Başak)	23 Ağustos	12	Pisces (Balık)	19 Şubat



Şekil 4.2 Eratosthenes'in Dünya'nın büyüklüğüne ilişkin savı

4.3 Eratosthenes'in Dünya'nın Büyüklüğünü Belirleyişi

Gezegenler problemiyle uğraşmaya başlamadan önce, Dünya'nın kendi şeklinin ne olduğu sorusuna bakalım. 2. Konu'da Aristo'nun Dünya'nın küresel olduğuna inandığını gördük. Bununla birlikte, MÖ 3. yüzyılda Yunanlı gökbilimci ve coğrafyacı Eratosthenes (MÖ ~276–~194), gerçekten de Dünya'nın çevresini aşağıdaki gibi belirlemişti. Öğle güneşinin Mısır kenti Syene'nin (*B*) (bugünkü adıyla Aswan) tam tepesinde olduğu bir günde, düşeyle İskenderiye'deki

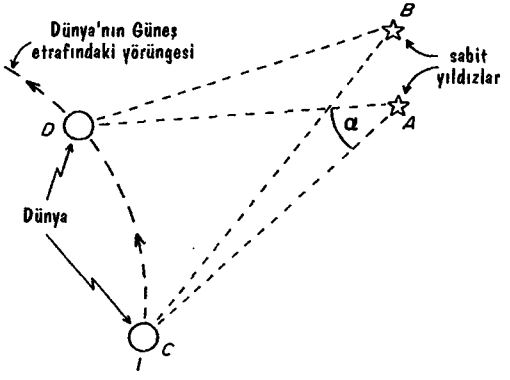
(A) (tam kuzeyde bulunan bir şehir) güneş ışınlarının arasındaki açıyı ölçtü (bakınız Şekil 4.2). Basit geometri, bize A ile B arasındaki yay parçasının uzunluğunun, s, dünyanın çevresi, C, cinsinden $\theta/360° = s/C = s/2\pi r_e$ oranıyla (burada r_e dünyanın kendi yarıçapıdır) verildiğini söyler. Eratosthenes, Syene ile İskenderiye arasındaki uzaklığı bildiği için, tam bir çemberin yaklaşık 1/50'si (ya da 7,2°) olarak bulduğu θ ölçümü C'yi, bugün bilinen 25 000 mil [$4{,}03 \times 10^4$ km] değerinin yaklaşık yüzde 5'ine kadar hesaplayabilmesini sağladı.[2]

4.4 Aristarchus'un Güneş Merkezli Evren Modeli

Şekil 4.1'de gösterilen antik evren modelinden sık sık *iki-küre evreni* diye söz edilir. Bu, pek çok bakımlardan başarılı bir tanımlamadır; çünkü bir sürü veriyi harmanlayarak Dünya, Güneş ve yıldızlar için tutarlı bir resim sunar. Denizcilikte gök cisimleriyle rota belirlemekte hâlâ kullanılmaktadır. Bu iki-küre modeli, günümüze yakın zamanlara kadar en çok kabul edilen model olmasına karşın, çok eskiler tarafından bile öne sürülen alternatifleri de vardı. Samos'lu Aristarchus (MÖ ~310–~230), Güneş'in evrenin merkezinde olduğunu, Dünya'nın da Güneş etrafında döndüğünü postüle etti. Aristarchus'un bu kuramını, antik çağların en büyük matematikçisi, fizikçisi ve mucidi olan Syracusae'lı (Sicilya'da) Arşimet'in (Archimedes, MÖ ~290/280–212/211) eserlerinden öğreniyoruz. *Kum Hesapçısı* adlı eserinde Arşimet, evrendeki madde parçacıklarının sayısı ne kadar çok olursa olsun, bu sayıyı geçen bir sayının var olduğunu kanıtlar. Sözü edilmişken, girişte şöyle der:

> Şimdi 'evren'in, çoğu gökbilimci tarafından merkezi Dünya'nın merkezi olan ve yarıçapı Dünya'nın merkeziyle Güneş'in merkezi arasındaki doğrunun uzunluğu olan küreye verilen isim olduğunun farkındasınız. Bu, gökbilimcilerden duyduğunuz sıkça verilen açıklamadır. Fakat Samos'lu Aristarchus, öncüllerinden evrenin şimdi söylenenden defalarca kat daha büyük olduğu sonucunu veren bazı hipotezlerden oluşan bir kitap çıkardı. Hipotezlerine göre, Dünya bir çemberin üzerinde Güneş'in etrafında döner, Güneş bu yörüngenin merkezindedir ve yine merkezinde Güneş'in olduğu sabit yıldızlar küresi çok büyüktür...[3]

Buna karşın, Güneş merkezli kurama kuvvetle karşı gelen bir gözlemsel gerçek vardı; *yıldız paralaksı*. Aşağıda paralaks olgusuyla ilgili basit bir örnek verilmiştir: İki cismi (örneğin iki işaret parmağınızı) dikey konumda tutun, biri size diğerinden biraz daha yakın ve ikincisi de neredeyse kolunuzun boyu kadar önünüzde olsun. Bu cisimleri hareket ettirmeden başınızı bir taraftan diğerine doğru oynatın. İki cisim birbirlerine göre hareket etmiş gibi görünürler. Benzer şekilde, Dünya'dan (Şekil 4.3'te *A* ve *B* olarak gösterilen) iki sabit yıldıza, Dünya'nın Güneş etrafındaki yörüngesinden, önce *C* ve sonra da *D* konumundan bakarsak, *ACB* açısı *ADB* açısından daha küçük olacaktır ve dolayısıyla *A* ve *B* yıldızları arasındaki uzaklık değişiyor gibi gözükecektir. Yıldız paralaksının böyle etkileri çıplak gözle gözlemlenemediği için, eski çağlarda yaşayan insanların Aristarchus'un kuramını kabul etmeleri için pek bir neden yoktu. Modeli sadelik bakımından bir kazanç önermiyordu ve gerçekler tarafından çürütülüyormuş gibi duruyordu. Tabii ki paralaks itirazından kurtulmanın çok açık bir yolu vardır. Sabit yıldızlar (ya da gökkürenin yüzeyi) Dünya'dan yeterince uzaktaysa, *ACB* ve *ADB* açıları pratikte her bakımdan eşit olacaktır ve yıldız paralaksının herhangi bir etkisi fark edilemeyecektir. Bu, Dünya ile gökküre arasındaki uzaklığın en azından 1 500 000 dünya yarıçapı kadar olmasını isteyen Kopernik tarafından en sonunda izlenen yoldu. Bu, aşağıda göreceğimiz gibi, eski çağlardaki insanların kabul etmeye hazır oldukları yaklaşık 20 000 dünya yarıçapından çok daha büyüktü.



Şekil 4.3 Yıldız Paralaksı

Yıldız paralaksı ölçümlerini yapmak son derece zordur. Yalnızca modern zamanlarda bu tür gözlemler başarılı olmuştur. Şekil 4.3'e bakacak olursak, verilen bir yıldız (*A*) için paralaks açısı α, Dünya'nın iki konumu (*C* ve *D*) Dünya'nın Güneş etrafındaki yörüngesinin çapının ters taraflarında ve yıldızdan Güneş'e çizilen doğru bu çapa dik konumdayken oluşan açı diye tanımlanır. Centaurus takımyıldızında (Zodyak'taki takımyıldızlardan biri değil) üçlü bir yıldız olan ve dünyaya en yakın Alpha Centauri yıldızı için bile bu paralaks açısı, yayın bir saniyesi mertebesinde (1″) olup, çok küçüktür. Bu tür ölçümlerin ilk başarısız girişimleri arasında İngiliz James Bradley'in (1693-1762) 1725'teki ve William Herschel'in aynı yüzyılın sonundaki denemeleri sayılabilir. Aranan etkiyi bulamasalar bile, Bradley daha sonra 1728'de duyurulan yıldız sapmasını (bakınız Kısım 13.1) ve Herschel de 1800lerin başındaki çift yıldızları keşfetmişlerdir. Yıldız paralaksının ilk doğrudan gözlemleri 1837-1839 yıllarında, Alman gökbilimci Friedrich Struve (1793-1864) tarafından, kuzeydeki Lyra (Çalgı) takımyıldızındaki en parlak yıldız olan Vega (Alpha Lyrae diye de bilinir) üzerinde, Alman gökbilimci ve matematikçi Friedrich Bessel (1784-1846) tarafından Cygnus (Kuğu) takımyıldızındaki 61 Cygni üzerinde ve İskoç gökbilimci Thomas Henderson (1798-1844) tarafından Centaurus (Erboğa) takımyıldızındaki Alpha Centauri üzerinde yapılmışlardır.

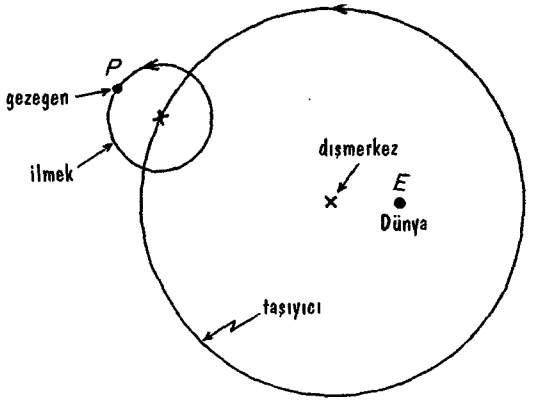
4.5 Gezegenler

Şimdiye kadar, gezegenler dışında, Güneş'i içeren evrenin iki-küre modelini sunduk. Çok eski insanlara göre, bilinen gezegenler Güneş, Ay, Merkür, Venüs, Mars, Jüpiter ve Satürn'dü. Gezegenler, Yunanca 'avare' sözcüğünden gelen köklerinin de işaret ettiği gibi, her türlü evren kuramı için ciddi bir problem oluşturuyordu. Hepsinin de yıldızlar gibi batıya doğru günlük ve yıldızların oluşturduğu arka planda da Güneş gibi doğuya doğru yavaş bir hareketi vardır. Gökyüzündeki yolculukları sırasında gezegenler, kimi zaman kuzeyine kimi zaman da güneyine geçerek, ekliptik civarında, ama neredeyse her zaman

Zodyak - ekliptik merkezli ve 16° genişliğindeki bir gökyüzü şeridi - içinde kalırlar. Evrenin iki-küre modelinde, çeşitli gezegenlerin Dünya'dan olan uzaklıklarını sıralamanın herhangi bir yolu yoktu. "Bir gezegenin periyodu (dünya etrafında bir tam dönüş için gereken süre) ne kadar uzunsa, Dünya'dan olan uzaklığı da o kadar daha büyüktür" diye kabul edilen bir pratik kural kullanılıyordu.[4] MÖ dördüncü yüzyılda ya da o sıralarda, gezegenler Dünya'dan dışarıya doğru şöyle sıralanmışlardı: Ay, Merkür, Venüs, Güneş, Mars, Jüpiter ve Satürn. Bununla birlikte, gökyüzünde aralarındaki açısal ayrılık hiç bir zaman çok büyük olmadığı için - ki bu gerçek için Ptolemaios'un (Ptolemy) modeli hiçbir doğal açıklama getiremiyordu - Venüs ve Merkür özel bir problem yaratıyorlardı. (Bu güçlüğe Kısım 5.2'de geri döneceğiz.)

Antik kozmolojinin en göze çarpan sorunu, gezegenlerin hareketlerindeki düzensizlikleri açıklamaktı. Platon'un, gezegenlerin görünen hareketlerini açıklayabilecek düzenli ve sıralı hareketlerin neler olduğunu sorduğu söylenir. Meslektaşı Eudoxus (MÖ ~400-~350), çeşitli dairesel hareketleri kaynaştıran uzun modeller serisinin ilkini önerdi. Bu *insan merkezli küre modeli*nde, yedi gök cisminden her birine sonlu kalınlıkta bir kabuk atanmıştı. (Yalnızca bu, yıldızlar için gökküreyi de sayınca sekiz küresel kabuğa yol açıyordu. Aslında model, gezegenlerin karmaşık hareketlerini açıklayabilmek için çok daha fazla sayıda kabuğu içeriyordu.) Antik çağlardaki insanlar, evrenlerine (bu, modern deyişle, yalnızca Güneş Sistemi olacaktır) bir büyüklük verebilmek için boşluğun mümkün olmadığı inancına başvurdular.[5] Eski çağlardaki insanların, bir gezegen için, yörüngenin yarıçapıyla periyodu arasında basit bir orantı olduğu fikrini doğru kabul edince, evrenlerinin büyüklüğünü tahmin edebiliriz. Satürn'ün (o zaman bilinen en dıştaki gezegen) periyodu yaklaşık yirmi dokuz yıl olduğu için, yörüngesinin Güneş'in Dünya etrafındaki yörüngesinin yirmi dokuz katı büyüklükte olması gerektiği sonucu çıkar. Dünya-Güneş uzunluğu verildiğinde (bakınız Kısım 4.A) Dünya'dan (Satürn tarafından işgal edilen bölgenin hemen dışında bulunacak olan) gökküreye olan uzaklığın yaklaşık olarak 20 000 r_e olduğu hesaplanır.

Şimdiye kadar bu konuda neler sunduğumuzu özetleyelim ve evrenin daha karmaşık modellerinin ne kadar başarıyla önerilegeldiklerini görelim. Platon, Aristo ve başka çoğu eski çağ düşünürü, dairesel hareketin başı ve sonu olmadığını, dolayısıyla gök cisimleri için tek uygun tip olduğunu düşünüyorlardı. Belli bir benmerkezcilik ve insan merkezcilik, Dünya'nın evrenin merkezinde ve mutlak hareketsizlikte olmasını istiyordu. (Herşeyden öte, Dünya'da Dünya'ya göre hareketsiz olduğumuzdan hiçbir hareket hissetmeyiz. Bu gerçeklere bakarak kendinizi düşünün.) Hepsi Dünya etrafında dönüyor gözükse de, yıldızlar birbirlerine göre sabitmiş gibi görünürler. Öte yandan, gezegenler birbirlerine göre sabit konumda kalmazlar ve gökyüzünde istikrarsız yollar izliyorlarmış gibi görünürler. Bu, eski çağlardaki insanların yıldızları, merkezinde Dünya olan, büyük, ortak bir gökküre üzerine yerleştirmelerine yol açmıştır. Bütün gök cisimlerinin, başı ya da sonu olmayan ve değişmez doğalarına yakışan kusursuzluğu yansıtan bir biçimde, sabit hızla dairesel yörüngelerde hareket ettikleri kabul edilmiştir. Aristarchus, Güneş'i evrenin merkezine yerleştirmeye ve Dünya'yı onun etrafında döndürmeye çalıştıysa da, yıldız paralaksını ölçememesi, kuramına karşı bir delil olarak alınmıştır. Böylece eski Yunanlılar, Dünya'yı hareketsiz duruyor almayı seçtiler. Bütün bunda, açıklamanın basitliği ölçütünün varlığı açıktır.



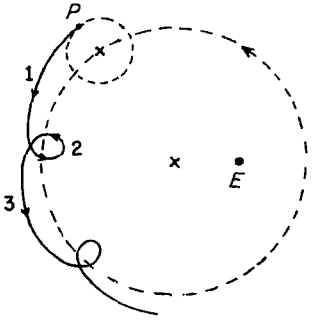
Şekil 4.4 Dışmerkezliler (eksantrikler), taşıyıcı ve ilmekler (merkezi bir çember üzerinde olanlar)

Buna karşın, hatta eski zamanlardan beri, Dünya merkezli dairesel gezegen yörüngeleri kuramına karşı geldiği kabul edilen iki veri parçası vardı. İlk olarak, gezegenlerin parlaklıkları yıl boyunca değişiyordu ve ikincisi, gezegenlerin *geriye doğru hareketi* vardı. Bu sonuncu etki, örneğin Mars gibi bir gezegenin doğuya doğru yolculuğunda bazen yavaşlayıp, durmuş ve kısa bir süre için ters yönde hareket edip, sonra tekrar doğuya doğru ilerliyormuş gibi göründüğü gerçeğinden söz etmektedir.

Gezegen ne kadar yakınsa parlaklığının da o kadar çok olacağı temel varsayımıyla *dışmerkezli*lerin parlaklıktaki değişimleri açıkladığı postüle edildi. Şekil 4.4'te gösterildiği gibi, gezegenin yörüngesinin merkezi dünyadan dışmerkez denen bir noktaya kaydırıldı. (Dünya hâlâ gökkürenin merkezinde kalmaktadır.) Geriye doğru hareket *ilmek*le (ç.n.: İngilizcesi epicycle) yani gezegenin üzerinde sabit hızla hareket ettiği daha küçük bir çember olduğu ve bu ilmeğin merkezinin de sabit hızla *taşıyıcı* diye bilinen daha büyük bir dışmerkezli çemberde hareket ettiğiyle açıklandı. Bu kuramda gezegen ilmekte ilmeğin taşıyıcı üzerinde hareket ettiğiyle aynı yönde hareket eder. Dolayısıyla gezegenin (*P*) dünyaya (*E*) göre hareketi, bu düzgün dairesel hareketlerin bir birleşimidir. Gezegenin yörüngesinin tam şekli ilmeğin ve taşıyıcının göreceli yarıçaplarına ve bu çemberler etrafındaki göreceli hızlarına bağlıdır. İzlenebilecek olası bir yol Şekil 4.5'te gösterilmiştir. 1 ve 3 ile gösterilen noktalarda, gezegen arka plandaki sabit yıldızlar arasından doğuya doğru ilerleyecek, oysa 2 ile gösterilen noktada, görünürdeki hareketi ters yönde olacak ya da geriye doğru gidecektir. Güneş'in ekliptiğindeki hareketi gibi, gezegenlerin yıldızlar arasındaki bu doğuya doğru hareketi de gezegenleri kendisiyle 'taşıyan' gökkürenin bütün batıya doğru olan günlük dönüşüne ek olarak (ya da üzerine bindirilerek) vardır. Bu modelde gökkürenin batıya doğru olan günlük dönüşünün hızı gezegenlerin taşıyıcılarınınkinden daha büyüktür, böylece gökkürenin arka planına göre, gezegenlerin konumları genel olarak doğuya doğru 'kayarlar'.

4.6 Ptolemaios'un Dünya Merkezli Evren Modeli

İskenderiyeli gökbilimci, matematikçi ve coğrafyacı Claudius Ptolemaios (Ptolemy), MS yaklaşık 150'de bu evren modelini o zaman elde bulunan verilere uyacak biçimde arıttı (ya da, bakış açınıza bağlı olarak, daha da karmaşıklaştırdı). Bir önceki tartışmamızda, düzgün dairesel hareketi temel alan ve her gezegen için dışmerkezlilerle, taşıyıcılarla ve ilmeklerle birleştirilen iki-küre evren modelinin, gözlemsel gökbilimin bilinen gerçeklerine niceliksel olarak uyabileceğini gördük. Bu temel fikirler, Ptolemaios'un selefi olan Hipparchus (MÖ 146–127) tarafından kusursuzlaştırılmıştı. Ptolemaios, bu modelin ayrıntılarını Arapların daha sonra *Almagest* (sözcüğün tam anlamıyla, en büyük (eser)) diye söz edecekleri eserinde sundu. Bunu aşağıdaki gibi özetledi.



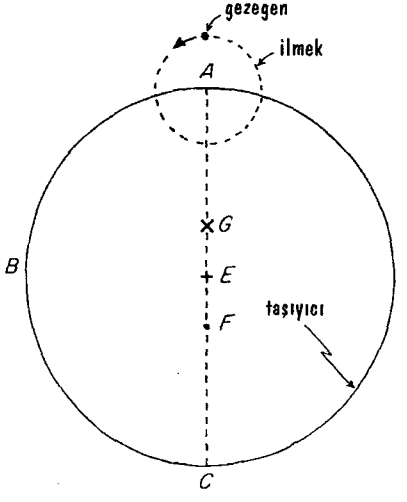
Şekil 4.5 Ptolemaios'a göre merkezi bir çember üzerinde olanların hareketi

> Ve böylece, genel olarak, gökteki cisimlerin küresel olduklarını ve küresel hareket ettiklerini; Dünya'nın da, şeklen, bir bütün olarak ele alındığında akla uygun biçimde küresel olduğunu; konum olarak da, geometrik bir merkez gibi gökyüzünün tam ortasında bulunduğunu; büyüklük ve uzaklık olarak da, sabit yıldızların küresine göre bir noktaya orantılı olduğunu; kendisinin yerel hiçbir hareketi olmadığını söylemeliyiz.°

Gezegenler için düzgün dairesel hareketi kabul edişiyle de Aristocu kaldı:

Öncelikle genel olarak gezegenlerin diğer gök cisimlerinin hareket yönüne ters yönde olan hareketlerinin hepsinin, evrenin öteki yöndeki hareketi gibi, düzgün ve doğaları gereği dairesel olduklarını varsaymak gerekir. Yani, yıldızları ya da dairelerini döndürdüğü düşünülen düzgün doğrular, kesinlikle bütün çevrelerde (çemberlerde) eşit sürelerde her birinin merkezinde eşit açılar keserler ve bunların görünürdeki düzensizlikleri, kürelerinin üzerlerindeki bu hareketleri sayelerinde yaptıkları çemberlerin konumlarının ve düzenlenişlerinin sonucudur; fakat görünüşlerinde varsayılan karışıklıktan dolayı, doğalarında değişmezliklerinden hiçbir sapma olmamıştır.
Fakat bu düzensiz görünüşün nedeni topu topu iki temel basit hipotezle açıklanabilir. Çünkü hareketleri, gözümüz merkez olacak biçimde, evrenle eşmerkezli ekliptiğin düzlemindeki bir çembere göre değerlendirilecek olursa, düzgün hareketlerini ya evrenle eşmerkezli olmayan çemberler üzerinde ya da eşmerkezli çemberler üzerinde, ama yalnızca bunlarla değil, fakat bunlar üzerine dayandırılmış ilmekler denen başka çemberler üzerinde yaptıklarını varsaymak gerekir. Çünkü her iki hipoteze göre de gezegenlerin görünüşte, eşit zaman aralıklarında, evrenle eşmerkezli ekliptik çemberin eşit olmayan yaylarından geçmeleri olası gözükecektir.[7]

Buna karşın, bu modelle veriler (burada, herhangi bir geçmiş ya da gelecek tarihte gezegenlerin kesin konumları) arasında nicelik bakımından uyuşma sağlamak için taşıyıcı, ilmek ve dışmerkezli yeterli



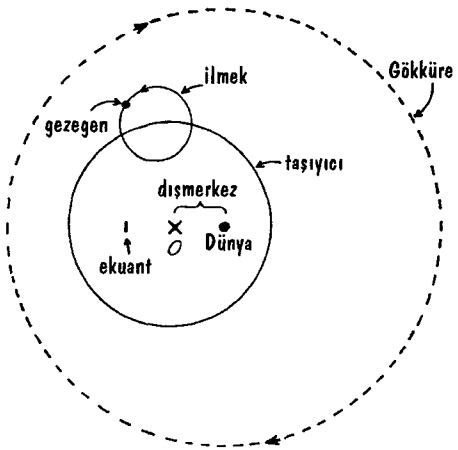
Şekil 4.6 Ptolemaios'un modelinde ekuant (G)

değildi. Ptolemaios *ekuant* (ç.n.: dışmerkezli ekvator) diye bilinen bir araç öne sürdü. Şekil 4.6'da Dünya *F* noktasında (hâlâ gökkürenin merkezi) ve *E* noktası da taşıyıcının dışmerkezli çemberinin merkezi olarak gösteriliyor. Ptolemaios, ekuantı (*G*) sistemine aşağıdaki gibi sokar.

> İlmeklerin merkezleri dışmerkezli çemberler - ki bunların merkezleri öyledirler ki ilmeklerin merkezleri bunlara göre düzgün doğuya doğru hareketle dönerler ve eşit sürelerde eşit açılar keserler - üzerine dayanmış değildirler... İlmeklerin merkezleri anomaliyi (ç.n.: aykırılığı) etkileyen dışmerkezlilere eşit, fakat başka merkezlerce tanımlanan, çemberlere dayanmışlardır.
>
> . . .
>
> *E* merkezi ve *AEC* çapı etrafında ilmeğin merkezinin dayandırıldığı *ABC* dışmerkezli çemberi bulunsun. Bu çap üzerinde *F* noktası ekliptiğin merkezi ve *G* de ... etrafında ilmeğin ortalama geçişinin düzgün olarak etkilendiğini söylediğimiz merkez olarak alınsın.[8]

Yani, Şekil 4.6'ya bakarak, ilmeğin merkezi (*A*) taşıyıcının merkezine (*E*) göre değil ama artık ekuant noktasına (*G*) göre sabit hızla hareket eder (ya da eşit sürelerde eşit açılar süpürür). Taşıyıcı üzerindeki bir noktanın hareketinin hızı yalnızca bu merkezde olmayan noktaya göre sabit gözükür. Bu pek doğru olmayan ekuant çaresine başvurarak Ptolemaios, üyesi bulunduğu Aristo idealinden ayrıldı ve neredeyse düzgün dairesel hareketin bütün numarası kayboldu.

Şekil 4.7 Ptolemaios'un evreninin temellerini *Almagest* adlı eserinde sunulduğu biçimde göstermektedir. (Yalnızca tek bir gezegen için gereken bir çember kümesi gösteriliyor ama, tabii ki, gezegenlerin her biri için, Güneş ve Ay için de olmak üzere, böyle ayrı bir küme vardır.) Veriler daha büyük doğrulukla düzeltildikçe, gerekli sayısal kesinliğe ulaşmak için ilmekler üzerinde ilmekler gerekti. Aslında Ptolemaios'un kuramı, gözlemsel verilerdeki doğruluk ilerledikçe daha fazla ayarlamalar gerektirdiği için, hiçbir zaman tam olarak iyi sonuç vermedi. Kuram, fiziksel evrenin temelde doğru bir betimlemesini sağlamaktansa, aslında yalnızca verileri uydurma sorununa dönüştü.



Şekil 4.7 Ptolemaios'un evreni

Ekuant, bir kuramdaki ya da modeldeki tek işlevi bazı sorun yaratan verilerle uyum sağlamak olan ad hoc (ç.n.: Latince, sıfat olarak kullanıldığında 'özel ya da acil bir sorunu çözmek için çıkartılmış' anlamında) bir araca güzel bir örnek oluşturur. (Kısım 2.4'ün sonundaki tartışmayı hatırlayın.) Hatta şimdiki durumda, ekuant kavramı Aristo öğretisinin temelini oluşturan düzgün dairesel hareketin ruhunu da kirletti. Bütün geometrik karmaşıklığıyla, Ptolemaios'un evren modeli hâlâ verilere uyamıyordu ve kavramsal temeline sadık kalamıyordu. Kendi içinde de tutarlı değildi.[9] Bütün sistem o kadar hantallaşmıştı ki, 1252–1284 yılları arasında İspanya kralı olan Castileli X. Alfonso'ya (1221–1284) Ptolemaios'un modeli ilk kez anlatıldığında, "Yüce Yaradan, Yaratılış işlerine girişmeden önce bana, Alfonso'ya, fikrimi sorsaydı, çok daha iyi bir şey önerebilirdim" diye söylediği rivayet edilir.

4.7 Olguları Kurtarmak

Kısım 2.3'te bir ara söz ettiğimiz gibi, Platon evreni nasıl tanımladığını *Timaeus* adlı eserinde verdi.[10] O'na göre, dünya kusursuz bir küre şeklinde yaratılmıştı ve doğal düzgün dairesel hareket edecek

şekilde kurulmuştu. Bu 'Platonik' öğreti, sonraki çağlara Platon'un ve Aristo'nun eserleri üzerine yazılan yorumlar dizisiyle aktarıldı. Yunan düşünürü Simplicius'un (MS 530) *Aristo'nun De Caelo'su Üzerine Yorumlar* adlı eserinde bu gelenek şöyle belirtilir:

> Platon gök cisimlerinin hareketinin dairesel, değişmez ve sürekli düzgün olduğu ilkesini ortaya koyar. Buradan da matematikçilerin önüne şu problemi koyar: Hangi, değişmez ve kusursuzca düzgün, dairesel hareketler hipotez olarak kabul edileceklerdir ki, gezegenlerce sunulan görüntüyü kurtarmak mümkün olsun?[11]

Ptolemaios *Almagest*'inde şöyle derken bu 'Platonik' amaca sadık kaldı:

> Şimdi, problemimiz, Güneş ve Ay için olduğu gibi, beş gezegen için de, görünürdeki bütün düzensizliklerinin düzgün ve dairesel hareketlerce (çünkü bunlar eşitsizliklere ve düzensizliklere yabancı olan tanrısal şeylerin doğasına yakışır) üretildiğini göstermektir, felsefede gerçekten matematiksel kurama ait bu hedefin başarılı bir şekilde üstesinden gelinmesi çok büyük, çok zor ve hâlâ herhangi bir kişi tarafından mantıklı bir yolla erişilememiş bir şeydir.[12]

Bu 'Platonik' gelenekte gökbilim, fiziksel gerçekliği anlatmaya girişmeyi değil, ama yalnızca ona matematiksel bir betimleme vermeyi (Platon'un deyimiyle 'olguları kurtarmayı') amaçlamalıydı. Gökcisimlerinin doğası tanrısal olduğu için, dünyada bulunanlardan daha farklı yasalara uyarlar. İkisi arasında hiçbir bağlantı yoktur ve bu gökcisimlerinin fiziği hakkında herhangi bir şey bilmemizi olanaksız kılar.

Fiziksel modellere karşı bu tutumu günümüz okuyucusu tuhaf bulsa da, *gerçekçiliğe* (realizm) karşı *yararlılık* (enstrümantalizm) sorununu şık bir şekilde öne çıkarır. Buradaki temel soru bir kuramın ne kadar ciddiye ('gerçeğe uygun' diye) alınacağıdır.[13] Bizim için bu genellikle kuram için olan kanıtlara bağlıdır. Başlangıçta bir kuram (ya da açıklayıcı 'öykü') belirsiz, deneysel diye ve sonra daha çok durumda başarılı olmayı sürdürdükçe ve biz ona alıştıkça daha ciddiye alınır. Bir bakıma bunda belki de Hume'un aklımızın, bir tip olayın

verilen türde bir başkasınca izlenmesinden oluşan sabit birleştirilmişlikleri yeterince çok sayıda gözlememizden, nedensel bağlantıları 'görmek' alışkanlığı oluşturmasını açıklamasına benzer psikolojik bir öğe vardır. Böylece doğal olarak, bir kuramı kelimenin tam anlamıyla doğru kabul etmenin ne zaman mantıklı olduğunu sorarız. İlk gökbilim modellerine bakarak aşağıdakileri gözlemleyebiliriz.

Babilliler gezegenlerin konumlarını ve yinelemelerini hesap etmek için gözlemsel yöntemler keşfettiler, ama bu düzenlilikleri açıklamak için geometrik bir resim ya da nedensel bir açıklama geliştirmediler. Yöntemleri tamamen yararlıydı. Benzer biçimde Platon ve Eudoxus astronomik yapıları yararlı diye aldılar. Dolayısıyla, insan merkezli küre modelinde gezegenlerin içinde dolandıkları kalın küresel kabukları sürdüren neden aranmamıştı. Gökbilim, matematikle fizik arasında bir disiplin olarak görülmüştü ve bu karakteri hakkında bir gerilim ya da belirsizlik yaratmıştı. Gerçekçi diye alınması gerekmiyordu. Aristo'nunsa çok değişik bir tutumu vardı ve onun için en dıştaki küre (ya da gökküre) bu iç içe geçmiş küreler kümesini sürdüren gerçek nedendi. Bu küresel kabukların her biri sırasıyla içeriye doğru kendisine komşu kabuğu sürdürüyordu. Bu gerçekçilik sorununda, Ptolemaios'un konumu değişkenmiş gibi görünüyor. Aslında daha sonra gelen Ptolemaios modeli, nedensel açıklamaya Eudoxus ve Aristo'nun çok daha önceki insan merkezli küre modeline göre kolayca elverişli değildi. Daha sonraki modellerin nedensel yönü pek görünür değildi.

Aristo'nun ve Ptolemaios'un eserleri, kozmolojik ve astronomik düşünceye yüzyıllar boyu hükmetti. 6. Konu'da bu antik bilgi bütününün Rönesans'tan önce karşı karşıya kaldığı eleştirilerden ve meydan okumalardan bazılarına bakacağız. Buna karşın, şimdilik yalnızca MS 1500'e gelindiğinde yeni bir evren kavramı gerektiğini bildireceğiz. Bu çok önemli bir geçişin yapıldığı Kopernik'in ve Kepler'in çağı olacaktır. Kopernik resmini, ya da modelini, kelimenin tam anlamıyla doğru diye aldı (yani gerçekliğini inkar etmedi) ve bir sonraki konuda göreceğimiz gibi, dünyanın gerçek hareketi hakkındaki inancını açıkça belirtti. Başlangıçta Kopernik'in kendi modelini nominal değerinde aldığını düşünmek eğiliminde olmayabilirsiniz, çünkü

De Revolutionibus Orbium Caelestium (*Gökteki Kürelerin Dönüşleri Üzerine*) adlı eserinin önsözü kendi açıklamasının harfi harfine doğruluğu hakkında bir tekzip içerir:

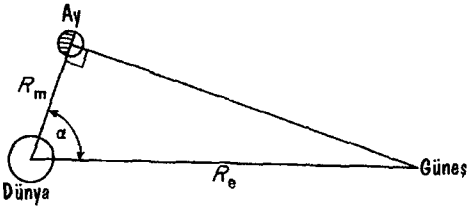
> Bu yapıtın - Dünya'yı hareket ettiren ve evrenin merkezine hareketsiz bir Güneş koyan - hipotezlerinin yeniliği şimdiden çok büyük miktarda şöhret edindiği için, birtakım bilginlerin bundan son derece rahatsız olduklarından, kırıldıklarından ve şimdiye dek uzun süredir uygun stratejiye sahip liberal bilim dalları arasında herhangi bir huzursuzluk yaratmanın yanlış olduğunu düşündüklerinden hiç kuşkum yok. Buna karşın, bu konuyu titizlikle tartmak isterlerse, bu yapıtın yazarının suçlanmayı hak edecek hiçbir şey yapmadığını bulacaklardır. Çünkü gök cisimlerinin hareketlerinin tarihini bir araya getirirken titiz ve uz gözlemler yapmak ve sonra - bu hareketlerin gerçek nedenine hiçbir düşünsel yolla ulaşamayacağı için - istediği nedenleri ya da hipotezleri, öyle ki bu nedenlerin doğru kabul edilmesiyle aynı hareketler geometrinin ilkelerinden geçmişte ve gelecekte de hesaplanabilmelidirler, bulmak ya da inşa etmek gökbilimcinin işidir. Bu sanatçı, bu konuların her ikisinde de özellikle başarılıdır: Çünkü bu hipotezlerin doğru, ya da olası bile, olmaları gerekmez; ama gözlemlere uyan bir hesaplama yöntemi sağlamaları yeterlidir... Çünkü bu sanatın görünürdeki düzensiz hareketlerin nedenlerinden mutlaka ve tamamen habersiz olduğu yeterince açıktır. Ve nedenler inşa edip buluyorsa - ki şimdiye dek bayağı çok bulduğu kesindir - bunları herhangi birini bunların doğruluğuna ikna etmek için değil, yalnızca hesaplamalar için doğru bir temel sağlayabilmeleri için bulur. Fakat tek bir hareket için, Güneş'in hareketi için ilmekte ya da dışmerkezlikte olduğu gibi, zaman geçtikçe değişik hipotezler öne sürüldüğünden gökbilimci anlaması en kolay olanı seçmeyi daha çok tercih eder. Düşünür bunun yerine belki de olasılığı ister; ama ikisi de kendilerine ilahi bir biçimde gösterilmedikçe, kesin olan hiçbir şeyi anlayamaz ya da kendilerinden sonrakilere bırakamaz.[14]

Ancak bu önsözü, Kopernik değil, Kopernik'in kötüleşen sağlığı nedeniyle kitabın basımından sorumlu olan Lutherci dinbilimci Andreas Osiander (1498–1552) yazmıştır. Evrenin bu yeni modelini basitçe ciddiye almaktan çok daha fazla olarak, Kepler aslında gezegenlerin Güneş etrafındaki hareketlerinin nedenlerini aradı. Bu yeni gelişmelere 5. Konu'da döneceğiz.

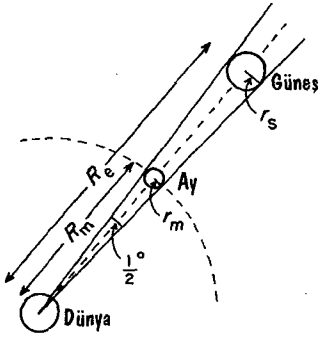
4.A Gezegen Yörüngelerinin Mutlak Büyüklüklerinin Belirlenişi

Eratosthenes'in dünyanın r_e yarıçapının büyüklüğünü nasıl belirlediğini gördük (Şekil 4.2'ye ve eşlik eden tartışmaya bakınız). Bu notta Aristarchus'un Dünya'nın Güneş etrafındaki yörüngesinin R_e yarıçapını daha önceden bilinen r_e değeri cinsinden nasıl ifade edebildiğini özetliyoruz. Bu *Güneş'in ve Ay'ın Boyutları ve Uzaklıkları Üzerine* adlı eserinde yapılmıştı.[15]

Bu arada, aşağıda verilen argümanlar, evrenin hem Dünya merkezli hem de Güneş merkezli modelinde eşit olarak geçerliliğini korur.



Şekil 4.8 Yarımayda Dünya-Güneş-Ay ilişkisi



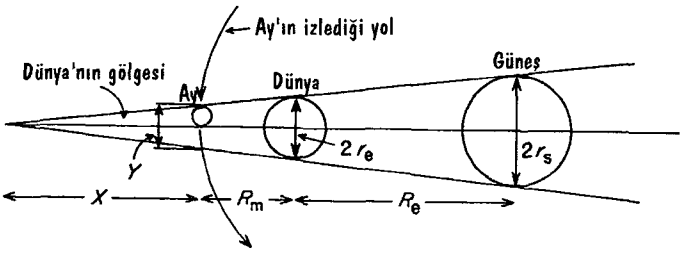
Şekil 4.9 Güneş ya da Ay tarafından Dünya'da taranan açı

Dünya'nın Güneş'e olan R_e uzaklığıyla Ay'a olan R_m uzaklığı arasındaki ilişki, Ay yarımayken gözlemlenerek, Şekil 4.8'de belirtildiği

gibi kurulabilir. Dünya'nın ve Ay'ın yörüngeleri dairesel olarak alınır. Ay tam olarak yarımayken, Şekil 4.8'deki üçgenin yukarıdaki açısı dik olmalıdır. Tam o sırada R_m ve R_e arasındaki Dünya'dan görülen α açısı ölçülür. Basit trigonometriye göre R_m ile R_e arasında $\cos\alpha = R_m/R_e$ ilişkisi vardır. Aristarchus α'yı yaklaşık 87° aldı ve böylece $R_e = 19\ R_m$ buldu.[16] Bu yapması çok zor bir ölçümdür; çünkü Ay'ın tam olarak ne zaman yarımay olduğunu belirlemek ve sonra α açısını doğru olarak ölçmek kolay değildir. Aristarchus'un açıları ölçmek için ne bir teleskopunun ne de gelişmiş aygıtlarının olmadığını hatırlayın. Bugün α'nın 89° 51′ olduğunu biliyoruz; böylece bu ilişki $R_e = 382\ R_m$ olur. Aristarchus'un Dünya'nın yörüngesinin büyüklüğünü aslından daha az hesaplaması sonunda, Güneş Sistemi'nin büyüklüğünü de aslından daha az hesaplamasına yol açmıştır.

Daha sonra, Dünya'daki bir gözlemcinin gözünde Ay ya da Güneş tarafından taranan açı Şekil 4.9'da gösterildiği gibi ölçülebilir. Her iki durumda da bu açı yaklaşık 1/2°dir. Bundan iki şey öğrenebiliriz. İlk olarak, $(2r_m)/(2\pi R_m) = (1/2)/(360°)$ oranını kurabiliriz; burada r_m Ay'ın kendi yarıçapıdır ve $2\pi R_m$ de Ay'ın Dünya etrafındaki yörüngesinin çevresidir. Bundan $R_m = 229\ r_m$ elde ederiz. İkincisi, Şekil 4.9'daki benzer üçgenlerden, $r_m/r_s = R_m/R_e$ yazabiliriz. Sağ taraftaki oran için Aristarchus'un değerini kullanırsak, $r_s = 19\ r_m$ elde ederiz; günümüzdeki değeri kullanırsak $r_s = 382\ r_m$ buluruz.

Son olarak, Aristarchus, Şekil 4.10'da resmedildiği gibi, Ay tutulması sırasında Ay'ı gözlemleyerek bu niceliklerin Dünya'nın r_e yarıçapıyla ilişkisini kurabilmişti. Burada Ay Dünya'nın gölgesinden geçmektedir. Aristarchus, Ay'ın bu gölgeye tamamen girmesi için geçen (yani $2\ r_m$ uzunluğunu alması için gereken) süreyi ve sonra da Ay'ın ön ucunun gölgeye girişiyle arka ucunun gölgeden çıkışı arasında geçen süreyi ölçerek, Ay'ın gölgede izlediği yolun Y uzunluğunu çıkarabildiği basit bir orantı kurabilmişti. Sürelerden ikincisinin ilkinin neredeyse iki katı olduğunu bulduğu için Y'yi $Y = (2)2r_m = 4r_m$ aldı. Yinelersek, zaman aralıklarını ölçmek için kesin sonuçlar verecek olanakları olmadığı için bu çıkarımda hatalıydı. Daha kesin bir ölçüm $Y = (1,3)4r_m = 5,2\ r_m$ verir.



Şekil 4.10 Aristarchus'un Dünya-Ay uzaklığı için savı

Şekil 4.10'daki benzer üçgenlerden şu (yaklaşık) oranları kurabiliriz[17]

$$\frac{X}{Y} = \frac{X + R_m}{2r_e} = \frac{X + R_m + R_e}{2r_s} \tag{4.1}$$

(Dünya'nın gölgesinin Ay'dan öte yayıldığı uzaklık) X'in değeri bize gerekmediği için (bu uzaklığı uzayda Ay'ın öte tarafına doğru yolculuk yapmadan ölçemeyiz), (4.1) denklemindeki birinci ve üçüncü terimlerden X'i

$$X = \frac{Y(R_m + R_e)}{2r_s - Y} \tag{4.2}$$

diye çözebiliriz. Şimdi bunu (4.1) denklemindeki ikinci ve üçüncü terimlerden oluşan denklemde yerine koyarsak,

$$r_s\left[\frac{Y(R_m + R_e)}{2r_s - Y} + R_m\right] = r_e\left[\frac{Y(R_m + R_e)}{2r_s - Y} + R_m + R_e\right] \tag{4.3}$$

buluruz. Aristarchus'un bulduğu Y, R_e ve r_s değerlerini (4.3) eşitliğinde yerine koyarsak $r_m = 0{,}35r_e$, $R_m = 80r_e$ ve $R_e = 19R_m = 1520r_e$ elde ederiz. Aynı hesabı daha modern değerleri (esas olarak Şekil 4.8'deki α açısı için daha iyi değeri) kullanarak tekrarlarsak, $R_e = 24\ 400\ r_e$ buluruz.

Yararlı Kaynaklar

Bu konudaki materyalin çoğunun klasik yeri Thomas Kuhn'un *Kopernik Devrimi* adlı eseridir. Otto Neugebauer'in *Antik Çağlardaki Kesin Bilimler* ve Michael Crowe'un *Antik Çağlardan Kopernik Devrimine Kadar Dünya Kuramları* da yararlı kaynaklardır. Arthur Koestler'in *Uyurgezerler*'i Kopernik ve Kepler hakkında çok etkileyici bakışlar sağlar. Pierre Duhem'in *Olguları Kurtarmak*'ı Platon'dan Galilei'ye kadar fiziksel kuramların gelişimini izler. Charles Gillespie'nin *Nesnelliğin Ucu* okuyucuya Galilei'nin zamanından yirminci yüzyıla dek uzanan bilimsel kuramların tarihine ilişkin kapsamlı bir bakış sunar.

5

Kopernik'in Modeli ve Kepler'in Yasaları

Şekil 4.7'de gösterildiği gibi, Ptolemaios'un sisteminin formu gününün genel düşünüşüne uyuyordu, eski gözlem verileriyle uyuşuyordu ve o zaman bilinen gezegenlerin gelecekteki konumlarını oldukça iyi öngörebiliyordu. 1543'te ölümünde yayınlanan *De Revolutionibus*'unda ve daha önceki, yaklaşık 1514'teki, *Commentariolus* (*Gök Cisimlerinin Hareketleri için Hipotezlerin Taslağı*) adlı eserinde Nicolaus Kopernik, Ptolemaios'un modeline ciddi bir biçimde saldırdı. Bunu büyük ölçüde Ptolemaios'un sisteminde dairesel hareketleri işin içine sokmak için kullanılan bazı araçların (özellikle ekuantın) yeterince düzgün olmayan hareketler oluşturduğunu düşündüğü için yaptı.

> Güneş'in, Ay'ın ve diğer beş gezgin yıldızın hareketlerini oluştururken [matematikçilerin] [tümü] aynı ilkeleri, kabulleri ya da dönüşler ve görünürdeki hareketler için aynı gösterimleri kullanmıyorlar. Çünkü bazıları yalnızca eşmerkezli çemberlerden, diğerleri dışmerkezli çemberlerden ve ilmeklerden yararlanıyorlar; yine de bunlarla aradıklarına tam olarak ulaşamıyorlar... Fakat dışmerkezli çemberleri düşünenler, bunlarla görünürdeki hareketlerin çoğu kısmını sayısal olarak hesaplayabiliyor gözükseler de, bu arada hareketin düzgünlüğünün ilk ilkeleriyle çelişiyor görünen birçok şeyi kabul ettiler.[1]

. . .

> Hâlâ Ptolemaios'un ve diğer gökbilimcilerin çoğunun gezegenler kuramları, sayısal verilerle tutarlı olmalarına karşın, benzer biçimde hiç de küçük olmayan zorluklar çıkartıyorlarmış gibi görünüyorlardı. Çünkü bu kuramlar belirli ekuantlar da tasarlanılmadıkça yeterli değildiler; bunun sonucunda bir gezegenin ne taşıyıcısında ne de ilmeğinin merkezi etrafında sabit hızla hareket etmediği gözüküyordu. Böylece bu tür bir sistem ne yeterince mutlak ne de yeterince akla hoş görünüyordu.[2]

Kopernik bütün gök cisimleri yerine dünyanın hareket ediyor olmasını önerdi.

> Dolayısıyla sınırlarını bilmediğimiz ve bilemeyeceğimiz bütün evreni bir karmaşa içine koymaktansa, Dünya'dan, şekline doğal olarak uyan hareketi neden daha fazla sakınalım? Ve neden günlük dönüş görünümünün gök cisimlerine ama gerçeğin Dünya'ya ait olduğunu kabul etmeyelim?[3]

4. Konu'da yıldız paralaksı itirazını evrenin büyüklüğünü son derece artırıp, bu etkiyi çıplak gözle gözlemlenemeyecek kadar küçülterek aştığından söz etmiştik. Düzgün dairesel hareketin gerekliliğini kabul ederek temelde hâlâ Aristocuydu.

> Bundan sonra gök cisimlerinin hareketlerinin dairesel olduğunu hatırlayacağız. Çünkü bir kürenin hareketi bir çemberde dönmektir; yalnızca bu eylemle, başı ve sonu bulunamayan ya da biri diğerinden ayırt edilemeyen, kendi içindeki aynı parçalarda hareket ederken, en basit bedende şeklini ifade eder.

. . .

> Yine de bu hareketlerin dairesel olduklarını ya da birçok dairesel hareketten oluştuklarını itiraf etmeliyiz, öyle ki, bu düzensizlikleri değişmez bir yasaya ve belirli periyodik dönüşlere uygun olarak sürdürürler: Ve bu, dairesel olmasalardı olamazdı.[4]

5.1 Kopernik ve Güneş Merkezli Evren Modeli

Nicolaus Kopernik hiçbir anlamda doğuştan bir devrimci değildi, ama utangaç bir insandı. 1473'te Polonya'nın Torun kentin-

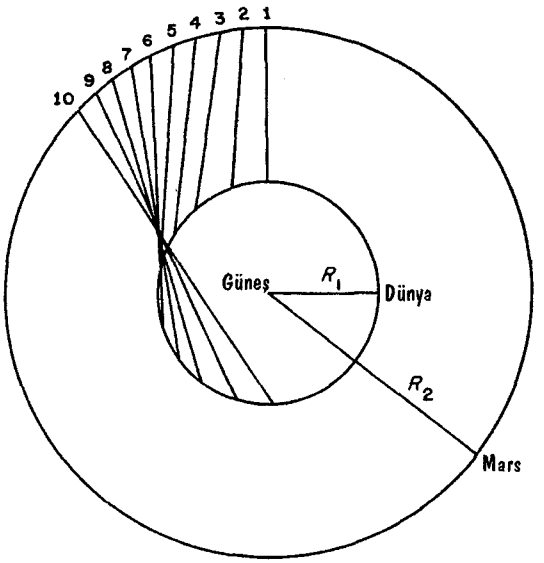
de doğdu. Nicolaus on bir yaşında babasını kaybetti; sonrasında bilgin bir papaz ve sonra piskopos olan amcası tarafından büyütüldü. Bu oldukça otokratik amca, genç adamın Kilise için eğitilmesi gerektiğine karar verdi ve 1497'de Nicolaus'un Frauenburg Katedrali'ne papaz olarak atanmasını sağladı. Bu kolay ve bol paralı iş ona bir gelir sağladı, ama bu iş için yapması gerekenler çok azdı. Eğitimini tamamlarken Frauenburg'daki görevinden 1512'ye kadar izinli olarak ayrıldı ve seyahat etti. Yunanca, matematik ve gökbilim eğitimi de görmüş bir avukat ve hekimdi. Aristarchus'un evrenin Güneş merkezli kuramının farkına vardı ve hayatının geri kalan kısmında gökbilime aktif bir ilgi duydu. Frauenburg'da bir gözlemevi kurdu. 1514'e gelindiğinde gökbilimci olarak öyle ün yapmıştı ki, takvim reformunu tartışmak için Lateran Konseyi'ne çağrıldı. Aynı yıl *Commentariolus*'ta Güneş merkezli kuramının kısa bir özetini sundu. Bu yayınlanmamıştı, ama bir el yazması olarak elden ele dolaştırıldı. 1539'da Wittenberg'den genç bir matematik profesörü olan Georg Rheticus (1514-1576) Kopernik'i ziyaret etti ve iki yıl kaldı. Kopernik *De Revolutionibus* adlı başlıca eserini yaklaşık olarak 1530'da tamamladı, ama onu yayınlamayacaktı. Rheticus 1540'da Kopernik'in sisteminin genel bir özeti olan *Narratio Prima* (*Nicolaus Kopernik'in Devrimci Kitabının İlk Hesabı*) adlı eserini yayınlama izni aldı. Sonunda, Rheticus ve başka arkadaşları onu *De Revolutionibus*'u yayınlamaya ikna ettiler. Söylenegelene bakılırsa, Kopernik 24 Mayıs 1543'te, yaşamının son gününde, beyin kanamasından ölmek üzereyken, kendisine yayınlanmış tek eserinin bir kopyası verilmişti.

Kopernik'in eserinin, zamanının entelektüel akımları bağlamında nerede olduğunu incelemek yararlı olabilir. Avrupa'da on dördüncü yüzyıldan on yedinci yüzyıla ya da o civarlara kadar süren Rönesans, antik Yunanlı ve Romalıların bilgi geleneklerinin çoğunun yeniden keşfi olduğu kadar, yeni keşiflerin (örneğin, Christopher Columbus'unkileri (1451-1506) de içeren büyük seferlerin) ve takvim reformunun da çağıdır. (Gregoryen takviminin 1582'de yürürlüğe girdiğini hatırlayın.) Ptolemaios gökbiliminin hükmünde

gevşeme vardı. Devir değişim çağıydı ve başlangıçta Roma Kilisesi Kopernik'in sistemine karşı ya da sisteminden yana herhangi bir konum almadı. On altıncı yüzyılın Martin Luther (1483-1546) ve John Calvin (1509-1564) tarafından önderlik edilen Reform hareketi, Protestanlık için İncil'in saf ve doğrudan yorumunun Hıristiyan bilgisinin temel kaynağı olacağını ana ilke olarak almıştı. Dolayısıyla, Protestan Kiliselerinin Kopernik'in modeline Kutsal Kitap'a aykırı diye karşı çıkmaları şaşırtıcı değildir. (Osiander'in *De Revolutionibus*'un önsözünde Kopernik sisteminin kelimesi kelimesine doğruluğunu yadsımasını hatırlayın.) Yayınlanmasından yaklaşık altmış yıl sonraya dek Roma Kilisesi 'ellerini' Kopernik'in büyük kitabından 'uzak tuttu'. On altıncı yüzyılın sonlarıyla on yedinci yüzyılın başlarında Protestanların dini ve politik konulardaki gevşeklik suçlamalarına karşı bir tepki olarak, Karşı Reform hareketiyle Roma Kilisesi Kopernikçilik'e karşı sertleşti ve 1616'da *De Revolutionibus* Katoliklerce okunması yasak kitaplar Katalog'una alındı. Bu sorunlara 10. Konu'da Galilei'nin yargılanışını incelerken geri döneceğiz.

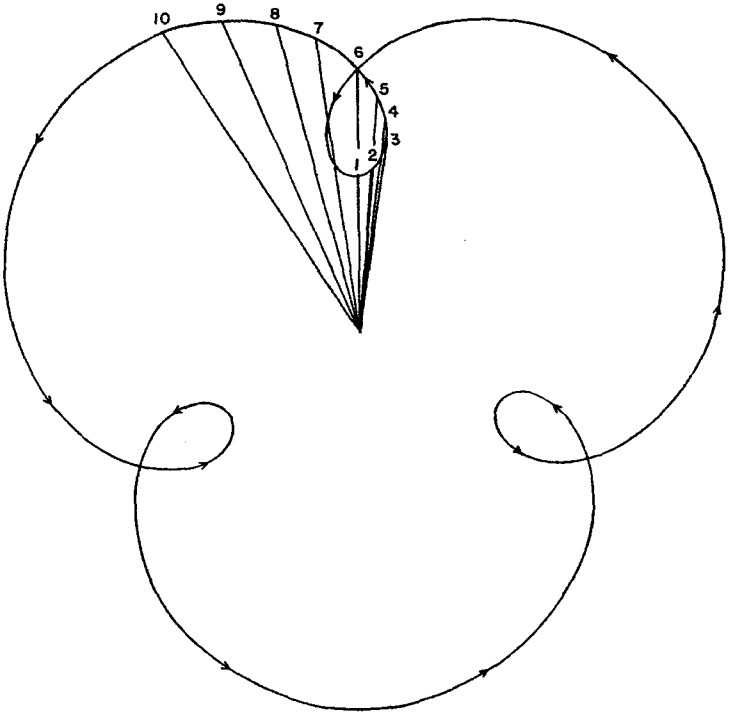
Şimdi Kopernik modelini görünürdeki geriye doğru hareket olayının bu Güneş merkezli evrende nasıl açıklandığını inceleyerek biraz ayrıntılı biçimde ele alıyoruz. Bu kuramda Dünya ve tüm gezegenler Güneş etrafında aynı yönde dönerler. Bu yön aynı zamanda Dünya'nın kendi ekseni etrafında dönüş yönüdür. Şekil 5.1 ve 5.2 Mars'ın Dünya'dan görünen geriye doğru hareketinin Güneş merkezli kurama göre açıklamasını niteliksel olarak göstermektedirler. $R_2 = 2{,}5\ R_1$ ve $\omega_1 = \omega_2/4$ diye özel bir durum alıyoruz. Bu niteliksel olarak (ama niceliksel değil) Mars'ın yörüngesinin boyutunun Dünyanınkinden daha büyük ve Mars'ın dönüş periyodunun da daha uzun olması bakımından Dünya-Mars düzenlenişine (konfigürasyonu) benzer. Burada Yunanca ω (omega) harfini açısal hızı (genellikle derece/saniye ya da radyan/saniye ile ölçülür) belirtmek için kullanıyoruz. v doğrusal hızı, R dairenin yarıçapı, τ periyodu (Güneş etrafında bir tam dönüşü tamamlamak için geçen süre) ile ω açısal hızı (radyan/saniye ile ölçülen) aralarındaki ilişki, düzgün

dairesel hareket için, $v = (2\pi R)/\tau = R\omega$'dir. Şekil 5.1 Dünya'nın ve Mars'ın konumlarını on eşit zaman aralığı boyunca göstermektedir. Güneş'e göre hareketsiz bir gözlemcinin göreceği budur. Şekil 5.2'de bu verileri Dünya'da sabitlenmiş bir referans noktasına göre çevirdik. Geriye doğru hareket açıkça görünüyor. Baktığımız doğrultuya dik (teğet) hızın yalnızca izdüşümünü 'görürüz'. Geriye doğru hareket, Dünya ile gezegenin göreli hareketi nedeniyle oluşan (görünürde) bir etkidir. Kopernik sisteminin bu özelliğinin değerini anlamıştı.



Şekil 5.1 Kopernik modelinde Dünya-Mars düzenlenişi

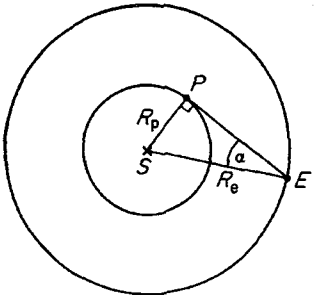
Çünkü yıllık dönüş hareketi, Güneş yerine yeryuvarlağına ait diye değiştirilirse ve hareketsizlik Güneş'e bahşedilirse, burçların ve sabit yıldızların doğuşları ve batışları - ki böylece sabah ya da akşam yıldızları olurlar - aynı şekilde görünecektirler ve gezgin yıldızların duruşlarının, geriye ya da ileriye gidişlerinin kendilerinin olmadığı, ama Dünya'nın bir hareketi olduğu ve bu hareketin görünüşlerini ödünç aldıkları görünecektir.[5]



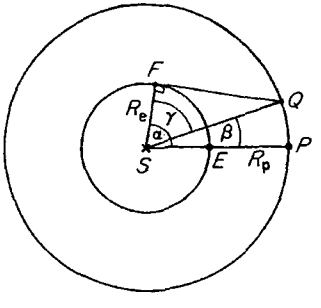
Şekil 5.2 Kopernik'e göre ilmek hareketi

5.2 Kopernik Kuramının Avantajları

Niteliksel ya da yarı niceliksel düzeyde, Kopernik'in modelinin Ptolemaios'unkine göre birçok estetik ve pratik avantajları vardır. Güneş merkezli modelde, her gezegen için yalnızca iki değişken (ya da serbestçe oynanacak değişken), belirtmek gerekirse yörüngenin yarıçapı ve gezegenin hızı gerekir. Sonrasında, hem parlaklıktaki değişim hem de geriye doğru hareket 'doğal' olarak buradan çıkarlar. Dünya merkezli modelde, yalnızca niteliksel bir uyum için bile her gezegen için en azından beş değişken (yörüngesinin (ya da taşıyıcının) yarıçapı ve hızı, ilmeğin yarıçapı ve hızı ve dışmerkezlinin sapması) gerekir.



Şekil 5.3 İçerideki bir gezegenin yörüngesinin büyüklüğünün bulunması

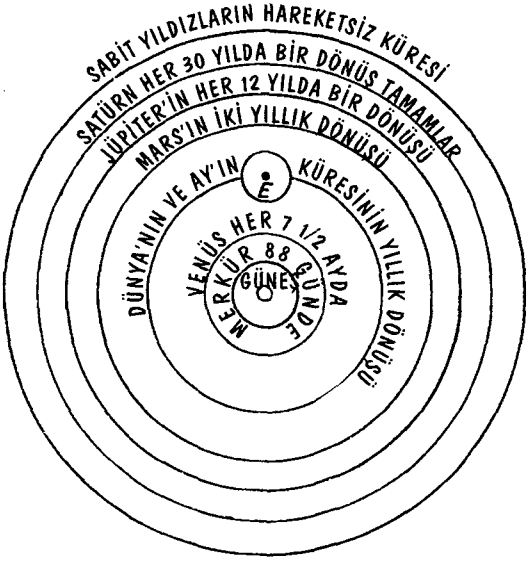


Şekil 5.4 Dışarıdaki bir gezegenin yörüngesinin büyüklüğünün bulunması

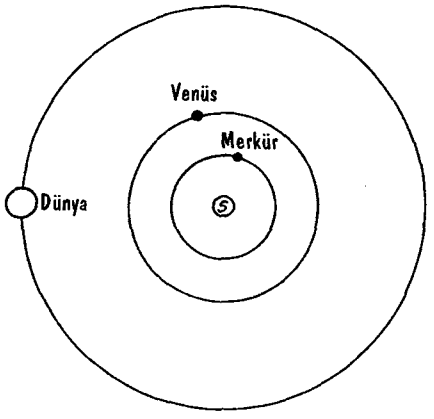
Kopernik'in sistemi, Güneş, Merkür ve Venüs'ün diziliş sorununu da çözer. Güneş evrenin merkezine yerleştirildiği için, yalnızca Merkür ve Venüs'ün dizilişi çözümlenmelidir. Bu daha aşağı ya da içeriye doğru (yörüngeleri Dünyanınkinden daha küçük olan) gezegenlerin her ikisi için de yörüngenin Dünyanınkine göre büyüklüğü Şekil 5.3'te gösterildiği gibi bulunabilir. Dünya-Güneş doğrusu (*ES*) ile Dünya-gezegen doğrusu (*EP*) arasındaki α açısı maksimum değerine ulaştığında, *SPE* açısı (*PE* R_p yarıçaplı çembere teğet olduğu için) diktir ve basit trigonometri $\sin\alpha = R_p/R_e$ verir. Böylece bu maksimum α açısı gözlemle bir kere ölçüldükten sonra, içerideki gezegenin yörüngesinin R_p yarıçapı Dünya'nın yörüngesininki R_e cinsinden verilir.[6]

Benzer ama biraz daha karmaşık bir argüman, daha üstün ya da dışarı doğru gezegenlerin yörüngelerinin yarıçaplarını bulmakta

Şekil 5.4'te gösterildiği gibi kullanılabilir.[7] Güneş (*S*), Dünya (*E*) ve dış gezegen (*P*) *SEP* doğrusu üzerinde dizildiklerinde başlayalım. Daha sonraki bir zamanda, dünya *F* ve gezegen Q noktasına ilerlediğinde ve *SFQ* açısı dik olduğunda (Dünya dışarıdaki bir gezegene göre yörüngesinde daha hızlı hareket ettiği için bu her zaman belli bir anda olacaktır) şöyle diyebiliriz: Dünya'nın *E*'den *F*'e gitmesi için geçen t_{EF} süresini bilerek ve düzgün dairesel hareket olduğunu varsayarak, α açısını (*PSF* açısını) $\alpha/360^{\circ}=t_{EF}/365$ olarak bulabiliriz. Benzer biçimde, β açısı (yani *QSP* açısı) kolayca β / $360^{\circ}=t_{EF}$/(dış gezegenin periyodu) olur. $\gamma = \alpha - \beta$ olduğundan, *SFQ* dik üçgeni için $R_e = R_p \cos \gamma$ buluruz. Yer merkezli modelde, gezegenleri tek bir şekilde sıralamak için böyle bir yöntem yoktu. Şimdi Kopernik'in modelinde ve 4. Konu'nun sonunda ana hatları verilen Aristarchus'un yönteminde, üçgenleri kullanan tekniklerin gezegenlerin yörüngelerinin boyutlarının mutlak büyüklüklerini bulmamızı sağladıklarının da değerini anlayabiliriz. Şekil 5.5 Kopernik'in kavradığı haliyle evrenin Güneş merkezli modelini gösteriyor.[8] Ay'ın Dünya etrafında kendi dairesel yörüngesine konduğuna dikkat edin.



Şekil 5.5 Kopernik'in evren modeli



Şekil 5.6 'Sabah yıldızları' Merkür ve Venüs

Kopernik modelinin bir başka etkileyici niteliksel özelliği de, Venüs ve Merkür'ün neden birlikte, sık sık sabah ve akşam yıldızları olarak, çok yakınmış gibi görünmek zorunda olduklarını tamamen doğallıkla açıklamasıdır. Merkür'ün ve Venüs'ün yörüngelerinin yarıçaplarının her biri Dünyanınkinden çok daha küçük olduğundan, Şekil 5.6'dan da görüldüğü gibi, Dünya'dan bakıldığında aralarında her zaman küçük bir açısal ayrılık olması gerekir. Öte yandan, eski Ptolemaios modelinde, Güneş, Merkür ve Venüs'ten her birinin Dünya etrafında kendi yörüngesi vardı ve gökyüzünde bazı zamanlar birbirlerinden çok uzakta görünmemeleri için önsel bir neden yokmuş gibi gözüküyordu. Yer merkezli model yörüngelerini tamamen ad hoc bir biçimde ayarlamak zorundaydı.

5.3 Kopernik Kuramının Yetersizlikleri

Yine de Kopernik'in özgün modelinin kesin niceliksel başarısı tamamen başka bir konuydu. Ptolemaios gökbilimsel verilere kabul edilebilir bir niteliksel uyum elde edebilmek için, taşıyıcılar ve ilmekler, dışmerkezliler ve ekuantlar da dahil olarak otuzun üzerinde çemberli bir sisteme gerek duymuştu. Kopernik de niteliksel başarı elde edebilmek için küçük ilmekler ve bazı dışmerkezliler kullanmak

zorunda kalmıştı. Ptolemaios'un modelininkine eşit bir kesinlik derecesine ulaşmak için, Kopernik de otuzun üzerinde çembere gerek duymuştu. Aslında *De Revolutionibus*'u Ay'ı ve Merkür'ü ele alırken ekuantların denklerini bile kullanır.[9] Pratik ekonomi ve kolaylık bakımından, ikisi arasında seçecek az şey vardı. Bu titizlik isteyen ölçüte göre, Kopernik de gezegenler sorununu çözmekte başarısız olmuştu. *De Revolutionibus*'u yayınlamaktaki büyük gecikmesinin nedenlerinden bir kısmı *Commentariolus*'undan (gezegenlerin hareketi için basit bir açıklama) ilk beklentilerinin sorunu ayrıntılı incelemesi sonrasında gerçekleşmemesi gerçeğine bağlı olabilir.

Antik Kaldealılar (ç.n.: Basra Körfezi'yle Fırat Deltası arasında kalan bölgede MÖ 8. ve 6. yüzyıl arası yaşayan, sonradan Asurlularla özdeşleşen halk) ile Yunanlıların yaptıkları ve Araplar tarafından yapılan daha yeni bazı gözlemler Kopernik'in evren modelini uydurmakta kullandığı verilerin çoğunu oluşturdu. Kendisi çok az gözlem yaptı ve bunlar da özellikle çok doğru değildi. Kopernik o zaman bunun farkında olmasa da, bildirilen bu gözlemlerin bazıları yanlıştı. Hem evren modeli tam olarak doğru değildi, hem de onu bazıları yanlış olan verilere uydurmaya çalışıyordu. Önemli ilerlemeler kaydetmeden önce, kapsamlı, hatası az ve güvenilir gözlemlere gereksinim vardı.

Bunları Danimarkalı Tycho Brahe (1546-1601) sağladı. Shakespeare'in *Hamlet*'inin Elsinore'u yakınlarında doğan Tycho, geçimsiz bir ikinci amiral olan amcası tarafından büyütüldü ve kendisinin huyu da amcasınınki gibi "sıra dışı" oldu. Tycho'nun görünüşü, gençliğinde bir düelloda kaybettiği burnunun yerine taktığı gümüşten ve altından yapılmış takma burun yüzünden çarpıcıydı. 1560'da Kopenhag Üniversitesi'nde öğrenciyken, daha önceden öngörülmüş bir kısmi güneş tutulması gördü. Onu en çok etkileyen, böyle bir olayın gökbilimle önceden öngörülebileceği gerçeğiydi. Böylece ömrü boyunca sürdüreceği hatasız gözlem yapma tutkusu başladı. Amcasının isteklerine karşı gelerek, çıplak gözle o zamana kadar mümkün olan en iyi gözlemleri yapabileceği, devasa, hassas araçları inşa ederek yıldızları çalışmaya devam etti. Tycho kendi zamanından

öncekilerden daha doğru veriler toplamakla kalmadı, aynı zamanda gezegenlerin sürekli konumlarının ve yaklaşık 1000 yıldızın güvenilir yerlerinin çok geniş bir listesini de biriktirdi.

1572'de daha önce bulunmayan yeni bir yıldızı keşfederek ünlü oldu. Sönükleşmeden önce, bir yıldan fazla bir süre görünebilir kaldı, fakat gökyüzündeki konumu değişmediği için bir yıldız olduğu kesindi. Bu gerçek, Ay küresinin ötesinde gökyüzünün değişmez olduğunu söyleyen Platon ve Aristo öğretisiyle çelişiyordu. Bundan sonra 1577'de o yıl gökyüzünde hareket ettiği görülen büyük kuyrukluyıldızın da Ay küresinin ötesinde olduğunu gösterdi. Ptolemaios'un ve Kopernik'in bağlı oldukları Platon/Aristo evreni şimdi darmadağın olmuştu. 1576'da Danimarka kralı II. Frederick (1534-1588) Brahe'ye Kopenhag'la Elsinore arasında Tycho'nun büyük bir gözlemevi inşa ettirdiği bir ada verdi. Sonraki yirmi yıl boyunca orada kaldı ve veri definesini topladı. Buradaki Hveen adasındaki Uraniburg'da Brahe gökyüzünü gözlemledi, sık sık gürültülü ziyafetler verdi ve oradaki halka kötü davrandı. 1597'de Hveen'i terk etmeye zorlandı ve sonunda iki yıl sonra Prusya İmparatoru II. Rudolph'un (1552-1612) matematikçisi olarak Prag'a geldi ve yakınlardaki Benatek Kalesi'ne yerleşti.

5.4 Kepler Yasaları

1600'de Johannes Kepler Benatek Kalesi'ne geldi. Kepler, Almanya'nın güneybatısındaki Weil'da, yoksullaşmış asil bir ailede doğdu. Yaşamı boyunca mali yıkımın eşiğinde yaşadı ve ailevi sorunlarla uğraştı. Parlak bir öğrenci olarak 1587'de Tübingen Üniversitesi'ne girmeye hak kazandı, burada gökbilimci Michael Maestlin (1550-1631) onu Kopernik'in eserleriyle tanıştırdı. Kepler yaşamı boyunca gizemciydi. Başlangıçta kilisede papaz olmak niyetindeydi, ancak 1594'te Avusturya'da Graz'da matematikçi ve gökbilimci olarak çalışacağı bir işi kabul etti. Oradaki sorumluluklarından biri, astrolojik tahminler için yıllık bir takvim hazırlamaktı. Bu tahminleri genellikle doğru çıktı.

Kepler 1595'te evrenin yapısının, eşkenarlı şekillerden yapılabilecek özdeş yüzlü beş düzgün cisimle çok yakından bağlantılı olduğuna

ikna oldu. Bunlar düzgün dörtyüzlü (piramit), küp, düzgün sekizyüzlü (sekiz eşkenar üçgen), düzgün onikiyüzlü (on iki beşgen) ve düzgün yirmiyüzlüdür (yirmi eşkenar üçgen). Kepler'in düşündüğü, bu düzgün cisimlerin her birini kürelere, biri diğerinin içinde olacak şekilde, peşi sıra yerleştirmekti. Bu, Güneş'in merkezde olduğu, altı eşmerkezli küre oluşturabilmek demekti. Kürelerin her biri o zaman bilinen altı gezegene (Merkür, Venüs, Dünya, Mars, Jüpiter, Satürn) karşılık bir yörünge içerecekti. Aslında doğru diye öne sürülen bu 'anlamlı' açıklama (gezegenlerin yörüngelerinin oranlarını doğru olarak vermediği ve altıdan daha çok gezegen olduğu için) yanlıştır. Buna karşın, Kepler bu düşünceye birçok kereler geri dönmüştür. 1596'da bu kuramı açıkladığı *Mysterium Cosmographicum* (*Kozmografik Gizem*) adlı ilk önemli eserini yayınladı. Kitap bir hayli dikkat çekti ve hem Brahe hem de Galilei onunla kitabı hakkında yazıştılar. Yıllar sonra, 1619'da, Kepler *Harmonices Mundi*'de (*Dünyanın Armonileri*) benzer bir temaya döndü ve daha sonra tartışacağımız, gezegenlerin hareketi için üçüncü yasasını buldu. Kepler burada da, başka yerlerde çok sık olduğu gibi, evrenin doğası hakkındaki inançları için gizemli nedenlere sahipti. Kopernik'in kuramını başlarda kabul etmesinin bir nedeni, Güneş'in asaleti ve gücü gereği evrenin merkezinde, ki birinci hareket ettirici olarak Tanrı'mn oturacağı yer, olması gerektiğine olan inancıydı.

1601'de Tycho Brahe ölünce, Benatek Kalesi'ne halefi olarak Kepler atandı. Kepler 1600'den 1606'ya değin Mars'ın yörüngesi üzerinde çalıştı, önceleri onu dairesel hareketlerin birleşimleriyle tam olarak uydurmayı denedi. Tycho'nun verileriyle, yayın sekiz dakikasına kadar uyum elde etti, ama veriler bundan daha hassas doğrulukta olduğu için, kuramının yanlış olması gerektiğini fark etti. Kepler 1609'deki *Astronomia Nova*'sında (*Yeni Gökbilim*) şöyle der:

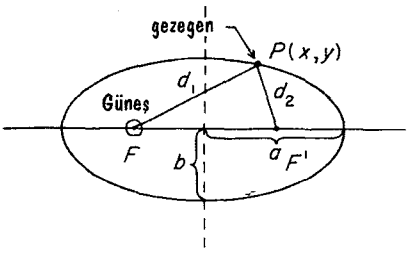
> Bize, ilahi bir incelikle Tycho Brahe gibi keskin bir gözlemci verilen bize, bu ilahi armağanın bilincinde olmak ve onu işe yarar kullanmak

> yaraşır... Bundan sonra bu yolda kendi fikirlerime göre önden gideceğim. Çünkü, bu sekiz dakikayı ihmal edebileceğimize inansaydım, hipotezimi ona göre onarırdım. Fakat bunları ihmal etmek izin verilemez olduğu için, bu sekiz dakika gökbilimin tamamen yenilenmesine giden yolu işaret ediyor: Bu eserin büyük kısmı için yapı malzemesi oldular...[10]

Burada modern bilimin belirleyici özelliklerinden birini görüyoruz; kuramla deney arasında kesin niceliksel uyuma olan gereksinim. Brahe'den önce, bir gökbilim modeli yayın on dakikasına kadar gözlemlerle uyuştuğu takdirde yeterli sayılıyordu. Gözlemleri en azından iki kat daha hassastı.

Kepler geçici olarak Mars'ın yörüngesi problemini bıraktı. (Doğru olmayan) bir varsayımla, bir gezegenin hızının Güneş'ten olan uzaklığıyla ters orantılı olarak değiştiğini kabul etti (çünkü Güneş'ten çıkan ışınların - onun *anima motrix*'i - gezegenleri yörüngelerinde ittirdiklerine inanıyordu). Uzun ve çetrefilli bir argümanla, gezegenlerin yörüngelerinin eşit zamanlarda eşit alanlar süpürmesiyle ilgili ikinci yasasını elde etti. Sonunda Mars'ın yörüngesini bulma sorusuna geri döndü. Elips olduğunu keşfetmesi, tamamında altı yıllık inanılmaz bir çalışma sonunda oldu. Bu yanlış başlangıçların tüm ayrıntılarını *Yeni Gökbilim*'inde verdi. 1618-1621'de genel halk için eserini özetleyen, şimdi adını taşıyan gezegenlerin hareketi için üç yasayı içeren *Epitome Astronomiae Kopernik*'i (*Kopernik'in Gökbiliminin Kısa Özeti*) yayınladı. Son önemli eseri, *Rudolph'un Tabloları* (ç.n.: Almanya İmparatoru II. Rudolph'a ithafen), 1627'de çıktı ve büyük oranda Brahe'nin yaptığı gözlemleri temel alıyordu. Kepler'in çıkardığı bu gökbilimsel tablolar, gezegenlerin konumlarının geçmişte ya da gelecekteki herhangi bir tarihte hesaplanabilmesini sağlıyordu.

Şimdi Kepler'in, formüle etmesi neredeyse yirmi yılını alan gezegenler için üç yasasını belirteceğiz. Bu yasalar büyük oranda gözlemsel olarak ve deneme yanılmayla, gerilerinde anlaşılır bir kuram olmadan keşfedildiler. Bunlar yalnızca Kepler'in uzun yıllar boyunca inanılmaz miktarda veriyi, çalışarak bulduğu düzenliliklerin kısa matematiksel özetleriydi.



Şekil 5.7 Elipsin geometrisi

1 *Kepler'in birinci yasası*: Gezegenler odaklarından birinde Güneş'in bulunduğu elipsler üzerinde yol alırlar.

Kısım 5.A'da elipsin bazı matematiksel özelliklerini geliştiriyoruz. Teknik olarak, elipsin klasik tanımı iki sabit noktadan (F ve F' odakları) uzaklıklarının (d_1 ve d_2) toplamı aynı olan noktalar (P) kümesidir (bakınız Şekil 5.7). Bütün gezegenlerin yörüngeleri yaklaşık olarak Dünya'nın Güneş etrafındaki yörüngesinin düzlemindedir (*ekliptik* olarak da bilinir). Kopernik'in modelinde eliptik yörüngeler kullanıldığında, model Ptolemaios'un sisteminden kolaylık ve doğruluk bakımından çok daha üstün hale gelir. Bir elips, Şekil 5.7'de gösterildiği gibi, büyük a ve küçük b eksenleri olarak aldığımız iki parametreyle belirlenir. Elips denkleminin standart modern formu

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \qquad (5.1)$$

Kepler'in bu yasayı ilk kez belirtmesi *Yeni Gökbilim*'dedir:

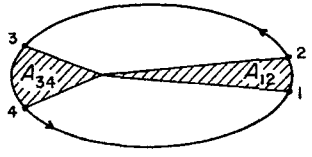
> O halde bir gezegenin yörüngesi elipstir.[11]

Bunu *Kopernik'in Gökbiliminin Kısa Özeti*'nde başlangıcı aşağıda verilen bir kısımda gösterir:

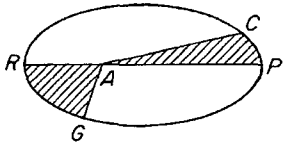
> Gözlemlerin tanık olduğunu söylediğiniz eliptik bir yörüngenin oluştuğunu kanıtlamak... kaldı.[12]

2 *Kepler'in ikinci yasası*: Güneş'ten gezegene çizilen bir yarıçap vektörü eşit zamanlarda eşit alanlar tarar.

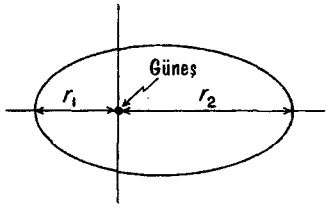
Bu yasayı Şekil 5.8'de resmediyoruz. Bir gezegenin iki aylık bir süre içinde, yörüngesi boyunca nokta 1'den nokta 2'ye gittiğini, böylece Güneş'ten çizilen yarıçap vektörünün A_{12} alanını taradığını kabul edelim. Öyleyse yarıçap, Kepler'in ikinci yasasına göre, başka herhangi bir iki aylık süre içinde de (diyelim 3'ten 4'e giderken) eşit alan (A_{34}) tarar. Gezegenin Güneş'ten uzaklığı gezegen yörüngesinde hareket ederken değiştiğinden, gezegenin eşit zamanlarda eşit alanlar taraması için, Güneş'e daha yakınken daha uzakta olduğundan daha hızlı hareket etmesi gerektiğini görürüz. Bir gezegen için alanın taranma hızının sabit olması gerektiğini belirten bu ifade, gezegenin anlık hızıyla Güneş'ten uzaklığı arasında kesin bir ilişki verir. Bu matematiksel bir denklem olarak yazılabilir, ama buna şimdi gerek yok.



Şekil 5.8 Kepler'in gezegenlerin hareketi için ikinci yasası



Şekil 5.9 Bir gezegenin 'gecikmesi'



Şekil 5.10 Günberi (Perihelyon) (r_1) ve günöte (aphelyon) (r_2) uzaklıkları

Kepler ikinci yasasını ilk kez *Yeni Gökbilim*'in 40. kısmında belirtti, fakat bunu tartışması çok uzun ve karışıktır; sonuç, gezegen için dışmerkezli dairesel hareket varsayıldığında yanlış elde edilmiştir. Yasa, *Kopernik'in Gökbiliminin Kısa Özeti*'nde eliptik yörünge için kısaca belirtilmiştir:

> Bu nedenle gezegenin *PC* yayındaki gecikmesinin *RG* eşit yayındaki gecikmesine oranı *PCA* üçgeninin alanının *RGA* üçgeninin alanına oranı kadardır.[13]

Kepler burada 'gecikme' ile, belirtilen yaydaki geçiş süresini kastediyor. Şekil 5.9 bu alıntıda sözü edilen nicelikleri gösteriyor. Güneş *A*'dadır. Yasasının bu ifadesinde Kepler, *PC* ve *RG* yaylarını eşit uzunlukta aldı, böylece ne *PCA* ve *RGA* alanları ne de geçiş süreleri (gecikmeler) eşittir. Belirtilen orantıdan, alanlar eşit alındığında geçiş sürelerinin de eşit olduğunu görürüz (bununla birlikte, yay uzunlukları, tabii ki, artık eşit olamazlar). Kepler'in ikinci yasasının alanın taranma hızının, verilen bir gezegen için sabit olduğunu belirttiğinin, bunun bütün gezegenler için aynı olduğunu söylemediğinin önemini anlayınız. Örneğin, Dünya'nın herhangi bir günde taradığı alan, Dünya'nın herhangi bir başka günde taradığı alana eşit, fakat Mars'ın verilen herhangi bir günde taradığı alandan farklıdır. Yani, bu alan tarama hızının belirli sayısal değeri, Güneş sistemimizde gezegenden gezegene değişir.

Tablo 5.1. *Gezegenler için gökbilimsel veriler*

Gezegen	Yörüngenin ortalama yarıçapı (km)	Ortalama periyodu (gün)	Dışmerkezlilik $\sqrt{1-(b/a)^2}$	$(R^3/\tau^2)/10^{19}$
Merkür	$5{,}79 \times 10^7$	88	0,206	2,51
Venüs	$1{,}08 \times 10^8$	225	0,007	2,49
Dünya	$1{,}50 \times 10^8$	365	0,017	2,53
Mars	$2{,}27 \times 10^8$	687	0,093	2,48
Jüpiter	$7{,}78 \times 10^8$	4333	0,048	2,51
Satürn	$1{,}43 \times 10^9$	10 759	0,056	2,53
Uranüs	$2{,}87 \times 10^9$	30 685	0,047	2,51
Neptün	$4{,}49 \times 10^9$	60 190	0,009	2,50
Plüton	$5{,}91 \times 10^9$	90 737	0,249	2,51

Tablo 5.2. *Dünya, Ay ve Güneş için veriler*

	Dünya	Ay	Güneş
Kütle (kg)	$5{,}98 \times 10^{24}$	$7{,}34 \times 10^{22}$	$1{,}99 \times 10^{30}$
Ortalama yarıçap (km)	$6{,}37 \times 10^{3}$	$1{,}72 \times 10^{3}$	$6{,}97 \times 10^{5}$
Dünya'dan ortalama uzaklık (km)		$3{,}80 \times 10^{5}$	$1{,}49 \times 10^{8}$

3 *Kepler'in üçüncü yasası*: Gezegenin yörüngesinin ortalama yarıçapının (R) küpünün, periyodunun (τ) karesine oranı, Güneş Sistemi'ndeki bütün gezegenler için sabit bir sayıdır.

$$\frac{R^3}{\tau^2} = sabit \qquad (5.2)$$

Eliptik bir yörüngenin ortalama yarıçapı, gezegenin Güneş'e en çok yaklaştığı uzaklıkla r_1 (günberi - *perihelyon*), Güneş ile gezegen arasındaki en büyük uzaklığın r_2 (günöte - *aphelyon*) (bakınız Şekil 5.10) toplamının yarısı olarak tanımlanır:

$$R = \frac{1}{2}(r_1 + r_2) \qquad (5.3)$$

(Bu ortalama R yarıçapının, tam da (5.1) eşitliğindeki ve Şekil 5.7'deki elipsin büyük ekseni olduğuna dikkat ediniz.) τ periyodu, gezegenin Güneş etrafındaki yörüngesinde bir tam dönüş yapması için geçen süredir. Tam olarak belirtecek olursak, R_1 ve τ_1 bir gezegenin (diyelim Dünya'nın) ortalama yarıçapı ve periyodu ve R_2 ve τ_2 de bir başkasınınkilerse (diyelim ki Mars'ın), Kepler'in üçüncü yasası

$$\frac{R_1^3}{\tau_1^3} = \frac{R_2^3}{\tau_2^3} \qquad (5.4)$$

olduğunu belirtir. Kepler'in üçüncü yasasının yalnızca ortak bir merkezi cisim etrafındaki yörüngeler (örneğin, Güneş etrafındaki gezegenler ya da Dünya etrafındaki uydular kümesi) için geçerli olduğunu ayırt etmek önemlidir. Bununla birlikte, örneğin Dünya'nın Güneş etrafındaki yarıçapı ve periyodu ile Ay'ın Dünya etrafındakileri arasında bir bağlantı vermez.

Bu yasa, daha önceki *Kozmografik Gizem*'indeki temaya geri döndüğü ve evrenin yasalarını geometri, gökbilim, müzik ve astrolojinin bir bileşimiyle elde etmeyi denediği *Dünya'nın Armonileri*'nde bulunur.

> Fakat herhangi iki gezegenin periyotları arasında var olan oranın tam olarak ortalama uzaklıklarının 3/2'inci kuvvetleri arasındaki oran olduğu mutlak olarak kesin ve tamdır...[14]

Tablo 5.1'de gezegenler için bazı gökbilimsel verileri sıralıyoruz. Tablodaki son sütun Kepler'in üçüncü yasasının, (5.2) eşitliğinin, geçerliliğini gösteriyor. Tablo 5.2, Dünya, Ay ve Güneş hakkındaki bazı yararlı verileri içeriyor.

5.A Konik Kesitler

Önce, Kepler'in birinci yasasında geçtiği için elips özel durumuyla başlayalım. Metindeki Şekil 5.7'e başvurmak tartışmamızda bize yardımcı olacak. *e dışmerkezliliği* $e = \sqrt{a^2 - b^2}$ diye tanımlanır ve elipsin daireden sapmasının bir ölçüsüdür. $e = 0$ olduğunda $a = b$ olur ve daireye geri döneriz. $e_{\text{Dünya}} = 0{,}0167$ ve $e_{\text{Mars}} = 0{,}0934$ olduğu için Dünya'nın ve Mars'ın yörüngeleri neredeyse daireseldir, oysa Merkür'ün yörüngesi $e = 0{,}2056$ ile bir hayli uzatılmıştır. Metinde Şekil 5.7'ye eşlik eden elipsin sözel tanımı, matematiksel olarak şekildekiler cinsinden $PF + PF' = sabit$ olan bütün P noktaları elips üzerindedir diye belirtilebilir. Elipsin merkezini O ile gösterir ve $x = a$, $y = 0$ alırsak, $OF = OF'$ olduğundan $(a + OF + (a - OF')) = sabit = 2a$ buluruz. O halde $PF + PF' = 2a$ olması gerekir. Pythagoras kuramından

$$(PF)^2 = y^2 + (OF + x)^2 , \qquad (PF')^2 = y^2 + (OF - x)^2$$

diye yazabiliriz. $x = 0$, $y = b$ alırsak, $PF = PF' = a$ ve böylece $a^2 = ((OF)^2 + b^2)$ ve $OF = OF' = \sqrt{a^2 - b^2}$ olur. Bundan sonra basit cebir kullanılarak (5.1) eşitliğinde verilen elipsin standart denklemi elde edilir.

MÖ 350 dolayında, Eudoxus'un bir öğrencisi olan Menaechmus, dik dairesel konilerin düzlem kesitleri olan konik kesitleri keşfetti. Pergeli Apollonyus (MÖ 262–190) da konik kesitleri dik bir dairesel koninin kesilmesi cinsinden tanımladı. (Yani, konik bir kesit yalnızca dik bir dairesel koninin bir düzlemle kesişimi sonucu oluşan eğridir.) Bununla birlikte, Pappus (MS 320) Öklit'in konik kesitlerin doğrultman doğrusu (direktriks) özelliğini bildiğini ve konik kesitler için denk bir tanım veren aşağıdaki teoremi ifade ettiğini belirterek ona atıfta bulundu.

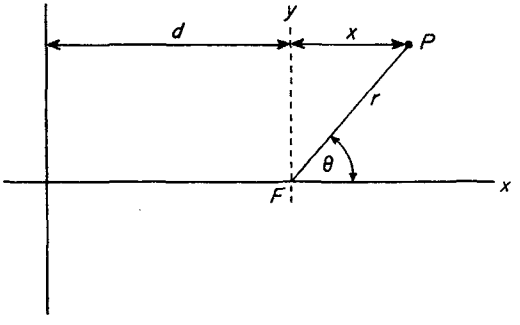
> Bir noktanın sabit bir noktadan [odak] olan uzaklığının sabit bir doğruya [direktriks (doğrultman doğrusu)] olan uzaklığına oranı [dışmerkezlilik] belirli bir sayıysa, noktanın izlediği yol sayının birden küçük, bire eşit ya da birden büyük olmasına bağlı olarak elips, parabol ya da hiperbol olan bir konik kesittir.[15]

Bu tanımın anlamı Şekil 5.11'de (burada dikey y ekseni doğrultman doğrusuna paraleldir ve F noktası teoremde sözü edilen sabit noktadır (burada, orijin)) gösteriliyor ve buna karşılık gelen denklem

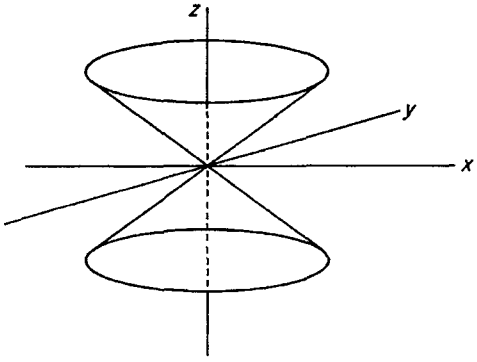
$$\frac{r}{d+x} = e \tag{5.5}$$

ya da, denk olarak

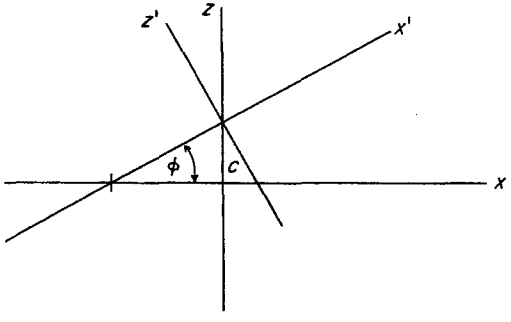
$$x^2+y^2=e^2\ (x+d)^2 \tag{5.6}$$



Şekil 5.11 Konik kesitin odağı-doğrultman doğrusu tanımı



Şekil 5.12 Dik dairesel bir koni



Şekil 5.13 Üç boyutta bir düzlem

Şimdi, Menaechmus'un konik kesit tanımına geri dönelim. Üç boyutta dik (dairesel) bir koninin denklemi (bakınız Şekil 5.12)

$$x^2+y^2=z^2 \tag{5.7}$$

ve y eksenine paralel bir düzlemin denklemi de (bakınız Şekil 5.13)

$$z=x\tan\phi + c \tag{5.8}$$

Bu düzlemin koniyle kesişimi(nin x-y düzlemine izdüşümü) (*konik* kesit) (5.7) ve (5.8) eşitliklerinden z'nin yok edilmesiyle elde edilir.

Bu (5.6) eşitliğine benzer formda bir sonuç verir. Düzlemle koninin kesişim denklemini kesişim düzleminin kendisinde (Şekil 5.13'te $z'=0$) de elde edebiliriz. Sonuç (5.6) eşitliğinin formuyla aynı çıkar, ki böylece o da konik bir kesittir. Bu, "bir düzlemin koniyle kesişimi, kesişim düzleminde konik bir kesit oluşturur" (Menaechmus'un tanımı) demektir. Böylece, konik kesitlerin bu iki klasik tanımının (bir koniyi bir düzlemle dilimleme cinsinden ve bir doğrultman doğrusu ve bir odak cinsinden) denkliğini göstermiş olduk. Konik bir kesit için genel ifadenin ((5.6) eşitliği) elips, parabol ve hiperbol olarak iyi bilinen üç özel duruma indirilişi, (5.6) eşitliği $0 \leq e < 1$, $e = 1$ ve $e > 1$ durumları için (biraz dikkatle) yeniden yazılarak açık olarak yapılabilir.

Son olarak, yukarıdaki (5.5) eşitliğini hatırlayarak ve Şekil 5.11'in geometrisinden $x = r\cos\theta$ olduğunu görerek, bu konik kesitin kutupsal formunu

$$\frac{r}{d + r\cos\theta} = e$$

ya da

$$r = \frac{de}{1 - e\cos\theta} \tag{5.9}$$

olarak kolayca elde edebiliriz. (5.9) eşitliği 9. Konu'da Newton'un gezegenlerin yörüngeleri üzerine çalışmalarını tartışırken yararlı olacak.

Yararlı Kaynaklar

Thomas Kuhn'un *Kopernik Devrimi* ve Arthur Koestler'in *Uyurgezerler*'i bu konunun öyküsü için önemli olmaya devam ederlerken, Judith Field'in *Kepler'in Geometrik Kozmolojisi* Kepler'in kozmolojik kuramlarını ve bunların kökenlerini ayrıntılı olarak tartışır.

6

Galilei'nin Hareket Üzerine Görüşleri

Bu konuda, esas olarak cisimlerin hareketlerinin nedenleri ve bu hareketlerin betimlenmesi üzerinde çalışan modern *mekaniğin* temellerine bir giriş sunacağız. Aristo ve Galilei, eserlerine odaklanacağımız tarihi karakterlerdir. 3. Konu'da işaret ettiğimiz gibi, bilimdeki bütün gelişmelerin, bilim adamlarının kendilerini içinde buldukları tarihsel, felsefi ve sosyal arka planda oluştuklarını göz önüne almak önemlidir. Bütün bilim adamları, ne kadar az bulunur yetenekler bahşedilmiş olurlarsa olsunlar, eski inançları ve kuramları yıkarlarken bile kendilerinden öncekilerin çalışmalarının üzerine yapılar kurarlar. Yunan mitolojisinde Zeus'un başından tamamen erişkin olarak ortaya çıkan Athena'nm tersine, bilimde yeni kuramlar, tecrit içinde yaşayan birinin aklında son haliyle ortaya çıkmaz; çok daha büyük bir hareketin parçası olarak gelişirler.[1] Bu kitapta sık sık geri döneceğimiz bu tema, aşağıdakilerde iyi örneklenir.

6.1 İtki Kuramı

Yüzyıllar boyunca, Aristo'nun eserlerinin üzerine yapılmış sonu gelmez yorumlar kadar kopyaları ve çevirileri de vardı. Aristo'nun geleneğini çalışanların tümü ona karşı eleştirisiz kalmamıştı. Bu, özellikle "'doğal olmayan' hareket dış bir etkenin etkisini gereksinir" diyen Aristo'nun tutumu için doğruydu. Antik çağların belki de en

büyük gökbilim gözlemcisi Hipparchus, hareket eden bir cisme aktarılan etkili kuvvet kavramını biraz belirsizce anlatmıştı. Bu etkili kuvvet, cismi saran ortam tarafından yavaşça dağıtılıyordu ve böylece cisim en sonunda duruyordu.

MS 533'te, yazdıkları hem Arap kültürüne hem de ortaçağ Batı düşüncesine katkıda bulunan, altıncı yüzyılın Yunanlı Hıristiyan düşünürü John Philoponus, Aristo'nun *Fizik*'i hakkında yorumda bulundu:

> Burada mutlak yanlış olan bir şey var ve mantık yoluyla yapılacak gösterimlerdense gözlemlenmiş gerçekle daha iyi sınayabileceğimiz bir şey. Ağırlıkları arasında çok büyük fark olan iki kütleyi alıp, bunları aynı yükseklikten serbest bırakırsanız, hareketlerindeki sürelerin oranının ağırlıklarının oranını izlemediğini, fakat sürelerdeki farkın çok küçük olduğunu göreceksiniz; dolayısıyla ağırlıklar arasında büyük bir fark yoksa, ama biri, diyelim ki, ötekinin iki katıysa, sürelerdeki fark ya hiç olmayacaktır ya da hissedilemez olacaktır.[2]

Burada Philoponus, daha ağır bir cismin daha hafif olana göre daha hızlı düşeceğini belirten kabul görmüş Aristocu dogmaya karşı çıkıyor. Cismin içinde hareket ettiği ortamın Aristo'nun belirttiği biçimde nedensel bir etken olduğunu da reddediyor. ((2.1) eşitliğini ve 2.A kısmındaki ortamın Aristo için çift yönlü nedensel rolü üzerine tartışmayı hatırlayınız.) Philoponus boşlukta hareket için hiçbir zorluk görmüyordu. Modern simgelenimle (notasyonla) onun ortamın etkisi üzerine fikrini Aristo tarafından önerilen ((2.1) eşitliğinde belirtildiği gibi) ters orantıdansa $v = (W - R)$ olarak sunmayı deneyebiliriz.(Bu denklemin niceliksel bir yasanın herhangi bir ifadesi diye alınmamasını tekrar vurguluyoruz.) Boşlukta hareketin ($R = 0$) artık Aristo için olduğu gibi sonsuz hız gerektirmediğine dikkat ediniz. Dahası, Philoponus, Hipparchus'unkine benzer bir etkili kuvvetin var olmasını savundu. Aristo'nun eğik atış hareketiyle ilgili açıklamasına karşı dururken, etkileyici bir şekilde şöyle sorar ve sonra yanıt verir:

> Bir taş, kuvvetle fırlatıldığında, arkasındaki havanın ittirilmesiyle mi doğal yönünün tersine bir yönde hareket etmeye zorlanır? Yoksa fırlatan, taşa da hareket ettirici bir kuvvet mi verir?
>
> . . .
>
> Bu ve daha pek çok nedenden ötürü, zorlanmış harekete, gösterildiği şekilde yol açılmasının nasıl olanaksız olduğunu görebiliriz. *Aksine fırlatan tarafından, fırlatılana maddi olmayan bir hareket ettirici kuvvetin verildiğini varsaymak mı gerekir* ve hareket ettirilen hava, fırlatılanın hareketine ya hiç bir katkıda bulunmaz ya da çok küçük bir etkide bulunur. O halde, zorlanmış harekete benim önerdiğim gibi yol açılıyorsa, bir oka ya da taşa 'doğaya karşı' hareket ya da zorlanmış hareket verilirse, aynı derecede hareketin boşlukta bir maddeyle dolu uzaydakinden çok daha kolayca meydana getirileceği çok açıktır. Ve fırlatanın dışında herhangi bir dış etkene gerek olmayacaktır...[3]

Önemli bir Müslüman düşünür-bilim adamı ve en önde gelen Müslüman Aristocu olan İbni Sina'nın (980–1037) (ç.n.: Batıda Avicenna diye bilinir.), Philoponus'unkine benzer bir etkili kuvvet öğretisi vardı. İslam ve Yunan felsefesini kendi sistemine katan İbni Bajjah da (1095–1138/1139) (ç.n.: Batıda Avempace diye bilinir.) Philoponus'un etkili kuvvetiyle uyumlu görüşleri destekledi. Bu fikirler Batıda Orta Çağ sırasında bir Endülüs Arabı olan İbni Rüşt'ün (1126–1198) (ç.n.: Batıda Averroes diye bilinir.) Aristo'nun eserleri üzerine yaptığı yorumların Latince çevirileri sayesinde bilinir oldu. Etkili kuvvet kuramlarının önemli bir özelliği, hepsinin bu itkiyi hareketin bir sonucu olarak değil, bir nedeni olarak görmesidir.

On dördüncü yüzyılda, etkili kuvvet konusunda önemli kavramsal değişiklikler oldu. Belki de zamanının en etkili düşünürü olan İngiliz Franciscanı Ockhamlı William hareketin, bir kere var olduktan sonra, onu sürdürmek için sürekli bir nedene gereksinmediğini öne sürdü. Bu, sürdürülen hareket için kuvvete gereksinim duyan daha önceki bütün varsayımlarla çelişiyordu. Paris Üniversitesi'nde Ockham'ın öğrencisi olarak çalışmış Fransız Aristocu düşünürü John Buridan bir *itki kuramı* kurdu. Bunda, bir nesneyi hareket ettiren, nesnedeki madde miktarıyla (ya da kütleyle) nesnenin hızının

çarpımına orantılı bir gücü nesneye aktarır. Modern terminolojiyle bu, itkinin *mv* ile özdeşleştirilmesi demektir. Bu itki, bir başka dış etken tarafından azaltılmadığı sürece, kütlede sonsuza dek kalan kalıcı bir etkili kuvvetti. Kendi haline bırakılmış hareket eden bir cismin hareket etmeye devam etmesi olasılığına izin veriyordu. Günümüzde bulunduğumuz iyi seyir yerinden bakarken bunda çok fazla bir derinlik aramamalıyız. İzleyen hareketin doğrusal mı, dairesel mi yoksa bir başka çeşit mi olacağı belli değildi. Bu itki kuramı Buridan'ın öğrencilerinden biri ve düzgün ivmeli hareket çalışan bir Fransız Roma Katolik rahibi ve Aristocu bilgin olan Nicholas Oresme tarafından sürdürülmüştü. Hareketsiz halde başlayıp v_f son hızına ulaşan bir cismin t süresi içinde alacağı x kadar yolu veren Merton teoremini ($x = 1/2\ v_f\ t$) kanıtladı. Bu teorem ilk kez 1330larda Oxford'da Merton Koleji'nde keşfedilmişti. Bu, Galilei'nin 300 yıl sonra kuracağı yasayla aslında aynıydı.

Aristo'nun konu hakkındaki öğretilerine karşıt görüşlerdeki hareket üzerine bu gelişmeleri, Orta Çağ süresince harekete ilişkin kavramlarda uzun ve yavaş bir değişimin var olduğuna işaret etmek için özetledik. Dahası, bu 'Karanlık Çağlardaki' bilimin özgün düşünceden yoksun olduğuna ve tamamen Aristo tarafından hükmedildiğine ilişkin tipik betimlemesi fazlasıyla basite indirgenmiştir. Bilimdeki bu ortaçağa özgü gelenek, ancak yirminci yüzyılın başlarında bir Fransız fizikçisi ve düşünürü olan Pierre Duhem'in (1861-1916) öncülük eden çalışmasıyla yeniden keşfedilmiştir. Aslında, itki kuramı inceleyeceğimiz bir sonraki önemli kişiye yabancı değildi.

6.2 Galilei'nin Doğal Olarak İvmelenen Hareketi

Galileo Galilei, 15 Şubat 1564'te Pisa'da doğdu. Babası müzisyendi. Galilei ilk eğitimini Floransa yakınlarında Vallombrosa'daki Cizvit manastırında aldı. 1581'de tıp okumak için Pisa Üniversitesi'ne girdi, fakat parasızlıktan 1585'te okulu bıraktı ve hiçbir zaman bir derece almadı. Buna karşın, bilimsel ünü öyle iyiydi ki, 1589'da Pisa Üniversitesi'ne matematik okutmanı olarak atandı. Galilei'nin,

Aristo'nun cisimlerin hangi hızla düştüklerine ilişkin açıklamasının yanlışlığını kanıtlamak için Eğilen Kule'de yaptığı sanılan halka açık gösterimi bu sıralardadır. Galilei'nin Pisa'nın Eğilen Kule'sinden gerçekten iki cisim bıraktığına ilişkin kesin hiçbir kanıt yokmuş gibi gözükse de, daha sonra tartışacağımız gibi, eğik düzlemler kullanarak düşen cisimlerin hareketi üzerine deneyler yaptığını iddia etmişti. Aristocularla çıkan anlaşmazlıkların sonucunda Pisa'dan istifa ettikten sonra, 1592'de daha sonra on sekiz yıl kalacağı Padua Üniversitesi'ne geçti. Orada, ailesinin gereksinimlerini karşılamakta yetersiz kalan gelirini arttırmak için bilimsel ve matematiksel araçlar yaptığı bir atölye kurdu. Galilei hiç evlenmediği halde, kendisinden iki kızı ve bir oğlunun olduğu bir metresi vardı. Galilei 1609'da yakın zamanda icat edilmiş olan kaba teleskoplarda önemli düzeltmeler yaptı ve Kopernik'in evrenin Güneş merkezli modelinin lehine Ptolemaios'un Dünya merkezli modelini yıkacak olan gökbilim gözlemlerine başladı. Bunların ikisini de 4. ve 5. konularda tartıştık. 1610'da hem Pisa Üniversitesi'nde makam sahibi hem de Büyük Dük Cosimo II de' Medici'nin (1590-1621) düşünürü ve matematikçisi konumunda Floransa'ya döndü. Galilei Engizisyon'la ilk kez 1616'da tanıştı. *Başlıca İki Dünya Sistemi Üzerine Söyleşi*'sini 1625-1630 yılları arasında yazdı. Kopernik sisteminin Ptolemaios sistemine karşı bu savunması 1632'de yayınlandı. Daha sonra o yıl eserin yayımı ve satımı Kutsal Ofis'in emriyle durduruldu ve Galilei Engizisyon tarafından Roma'ya çağırıldı. 1633'te suçlu bulundu ve Kopernik sistemiyle ilgili kabul gören doktrinlere karşı gelen öğretilerini yemin ederek reddetmek zorunda bırakıldı. Galilei 1633'ten 1642'deki ölümüne dek Roma yakınlarında Arcetri'deki Villa'sında ev hapsinde tutuldu. 1638'de Leiden'de yayınlanan ünlü *İki Yeni Bilim Üzerine Söyleşiler*'ini bu sırada yazdı. Galilei'nin bilimsel yöntem üzerine yazdıklarından bazılarını 12. Konu'da tartışsak da, şimdi kendimizi *Söyleşiler*'le sınırlıyoruz.

Söyleşiler'de ele alınan ilk yeni bilim, bizim bugün maddelerin dayanıklılığı diye adlandırdığımızdır. Burada bu konuyla ilgilenmesek de, bir su sütununun emme pompasında hangi yüksekliğe çıkacağına

ilişkin incelemesinin öğrencisi Evangelista Torricelli (1608-1647) tarafından barometrenin geliştirilmesi için temel oluşturduğuna işaret etmek ilginçtir. Bu aletin işleyişinin tam olarak anlaşılmasıyla *horror vacui*'ye (doğanın boşluktan tiksindiğine ve onu hoş görmeyeceğine ilişkin iddiaya) olan eski Aristo inanışının sonu geldi.

Galilei, *Söyleşiler*'in Üçüncü Günü'nde harekete ilişkin olan ikinci yeni bilimi ele alışını ortaya koyar.

> Amacım çok eski bir konuyla ilgilenen çok yeni bir bilimi öne sürmektir. Doğada herhalde hareketten daha eski bir şey yoktur, hakkında düşünürlerce yazılan kitaplar ne az sayıdadır, ne de küçük boylardadır; yine de deneylerle onun bilinmeye değer ve bugüne kadar ne gözlemlenmiş ne de gösterilmiş bazı özelliklerini keşfettim. Örneğin düşen ağır bir cismin serbest hareketinin sürekli ivmelendiği gibi bazı üstünkörü gözlemler yapılmıştı; ama bu ivmelenmenin tam olarak ne derecede oluştuğu şimdiye kadar açıklanmamıştı; çünkü, benim bildiğim kadarıyla, bugüne kadar kimse, serbest düşen bir cismin eşit zaman aralıkları arasında izlediği yolların birbirlerine oranının, birden başlayarak tek sayıların birbirlerine oranı gibi olduğuna işaret etmedi.
>
> Mermilerin ve atılan cisimlerin bir tür eğri bir yol izledikleri gözlemlendi; bununla beraber bu yolun bir parabol olduğu gerçeğine kimse işaret etmedi. Fakat bu gerçeği ve sayıları az olmayan ya da daha az bilinmeye değer olmayan başka gerçekleri kanıtlamayı başardım ve bence bundan daha önemli olarak, benim çalışmalarımın yalnızca bir başlangıç olduğu bu engin ve en mükemmel bilime, benimkinden daha keskin başka akılların sayelerinde en ücra köşelerini araştırabileceği, yollar ve araçlar açılmış oldu.
>
> Bu tartışma üç kısma ayrılıyor; ilk kısım değişmeyen ya da düzgün hareketle ilgileniyor; ikincisi doğada ivmelenmiş olarak bulduğumuz hareketi ele alıyor; üçüncüsü şiddetli hareketler diye bahsedilenle ve atılan cisimlerle ilgileniyor.[4]

Burada Galilei *kinematik*le, cisimlerin hareketlerinin niceliksel olarak betimlenmesiyle ilgileniyor. Hareketin nedenini incelemekten (*dinamik*ten), böyle bir girişim için zamanın daha olgunlaşmadığını

hissettiği için, sıkı bir sadakatle uzak durdu. (II. Bölüm'ün (*Antik ve çağdaş evren modelleri*) üçüncü alıntısına bakınız.) Büyük keşiflerinden birisi, doğal serbest düşüş sırasında bir cismin dünyaya doğru sabit bir değerle ivmelenmesiydi. Yani, bir cismi dünya yüzeyine yakın bir yerden serbest bıraktığımızda sabit bir ivmeyle düşer. Galilei bu tür sabit ivmeli hareketten doğal olarak ivmelenen hareket diye söz etti. Galilei, *Söyleşiler*'inde doğal olarak ivmelenen hareketin yalnızca gerçeklerle uyuşmakla kalmayıp, aynı zamanda hızın da mümkün olduğunca basit bir şekilde artacak biçimde tanımlanması gerektiğini söyler. Daha önce düzgün hareketi eşit uzaklıkların eşit zaman aralıklarında alınması diye tanımladığından, bir cismin serbest düşüşü için ivmenin eşit zaman aralıklarında eşit hız artışlarının kazanılması şeklinde olmasını önerdi.

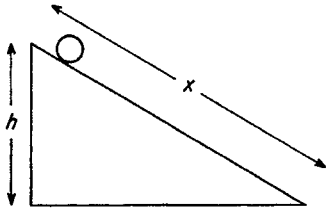
> Hızı, hareketsiz halde başlayınca, eşit zamanlarda eşit artışlar aldığında bir harekete eşit olarak ya da düzgün biçimde ivmeleniyor denir.[5]

Hızdaki Δv değişimi, geçen sürenin Δt artışıyla orantılıdır, böylece $\Delta v \propto \Delta t$ ya da Δv = sabit Δt olur. En önemli kavrayışı, t zamanını, bugün adlandırdığımız biçimiyle, bağımsız değişken diye düşünmekti, böylece konum, $x = x(t)$ ve hız, $v = v(t)$, kendi (düzgün) hızıyla akıp giden bu değişkenin fonksiyonu oluyorlardı. Bu, Newton için de (bizim diferansiyel kalkülüs diye bildiğimiz) 'flüksiyonlar'ını yarattığında 'akıp giden' değişken olarak önemli olacaktı.

Galilei, doğal olarak ivmelenen hareketin doğru bir tanımlamasını ararken kolaylık ölçütünü kullandı.[6] Bu ve deneyle olan uyuşum, tanımlamasının doğruluğuna geçerlilik sağladı.[7] Ona göre, doğal olarak (ya da düzgün) ivmelenen hareket yalnızca bir cismin düşey serbest düşüşünü değil, aynı zamanda düzgün bir eğik yüzeyden aşağıya doğru hareketini de içeriyordu. Galilei, düzgün ivmelenen hareket tanımından, hareketsiz halde başlayan bir cismin, geçen zamanın karesiyle orantılı bir uzaklık alması gerekeceğini öne sürdü. Bu öngörünün doğrulanması için, eğik düzlemlerle yaptığı birçok deneyin sonuçlarını aktardı. Galilei çok küçük zaman aralıklarını fark

edilebilecek derecede bir hassaslıkta ölçemediği için, bir cismin düşey serbest düşüşünü doğrudan çalışamadı, ama yerçekiminin etkisini topun iniş hızını azaltmak için eğimi az bir eğik düzlem kullanarak 'seyreltmek' zorunda kaldı. Uzun bir tahtada pürüzsüz bir yiv açtı ve onu parşömenle kapladı.[8] (Hareketsiz halde başlayan) düzgün yuvarlaklıkta bir parlatılmış pirinç top, eğri yüzeyden aşağıya doğru (Şekil 6.1'de gösterildiği gibi) yuvarlanmaya bırakıldı. Galilei, değişik eğimlerde ve eğri yüzey uzunluklarındaki yaklaşık yüz denemede, topun son hızının yalnızca eğik düzlemin yüksekliğine bağlı ve eğim açısına bağlı olmadığı halde, (eğri yüzeyin yüzü boyunca) iniş uzaklığının her zaman zamanın karesine yakın değiştiğini buldu. O zamanlar hassas saatler olmadığından, zaman aralıkları, tabanında küçük bir delik olan büyük bir kaptan düzgün bir hızla akıp giden su miktarının ağırlığıyla ölçülüyordu. Bugün bu klasik deneyler sıradan bir kronometre kullanılarak kolayca tekrar edilebilir. Galilei'nin bu deneyleri tasarlayıp yapmasındaki büyüklüğünün çoğu, o kadar kaba aletler kullanarak büyük miktarda yararlı veri çıkartabilmesinde yatar. Sık sık, özellikle bilimin erken tarihinde, akıllı insanlar basit araçlar kullanarak önemli keşifler yapmışlardır.

Bu tür deneylerin sonuçlarını alınan x uzaklığının t zamanının karesiyle orantılı olduğunu (yani, $x \propto t^2$) belirterek özetleyebiliriz. Bu, tabii ki, cismin eğik düzlemin başında hareketsiz olarak başladığını varsayıyor. O zamanlar cebir bu tür problemlerin uygulanmasına henüz uyarlanmadığı için, Galilei kanıtlarında araç olarak yalnızca geometri ve olağan dili kullanmıştır. Bu kanıtlardan birini 6.A kısmında inceliyoruz.



Şekil 6.1 Galilei'nin eğik düzlem deneyi

6.3 Eğik Atış

Düzgün ivmeli hareketi tartıştıktan sonra, şimdi bir cismin aşağı doğru sabit ivme altında ve sabit yatay bir hızı koruyarak hareket ettiği *eğik atış hareketi*ni inceleyelim. Galilei, atılan cismin izlediği yörüngenin ya da yolun bu hareketlerin (dikey ve yatay) her birinin bağımsız olarak alınması ve daha sonra bir araya getirilmesiyle bulunabileceğini buldu. Bir başka deyişle, bu bağımsız yatay ve dikey hareketler varsayımının gözlemlerle uyuşan sonuçlara yol açtığını öğrendi. Yatay koordinatı x ve dikey olanı da y ile gösteririz. Şimdilik yalnızca bir cismin yatay yönde v_0 hızıyla fırlatıldığı özel örneği ele alalım. Yatay yönde bir ivme olmadığı için, bu düzgün hareket için (modern simgelenimden yararlanarak) şöyle yazabiliriz:

$$x = v_0 t \tag{6.1}$$

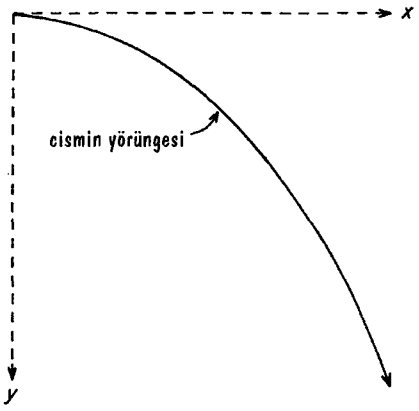
Orijinimizi ($x = 0$, $y = 0$) atılan cismin başlangıç noktası diye seçelim ve artı y değerlerini aşağıya doğru ölçmeyi kabul edelim. Bu durumda

$$y = \frac{1}{2} g t^2 \tag{6.2}$$

bulunur. g sembolünü Dünya'nın yüzeyindeki yerçekimine göre ivmeyi belirtmek için kullanıyoruz. Şekil 6.2 atılan cismin yörüngesini gösteriyor. (6.1) ve (6.2) denklemlerinden t zamanını yok ederek eğri için $y = f(x)$ biçiminde açık bir ifade elde ederiz:

$$y = \left(\frac{g}{2v_0^2}\right) x^2 \tag{6.3}$$

Bu bir parabol denklemidir ve bir önceki kısımda verilen bir alıntıdaki Galilei'nin iddiasını doğrular. Bu sonuç için Galilei'nin asıl geometrik argümanı 6.A kısmında yeniden oluşturulmaktadır.



Şekil 6.2 Eğik atış hareketi

6.4 Eylemsizlik

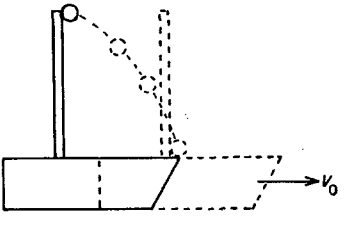
Daha önce belirttiğimiz gibi, Galilei bütün cisimlerin Dünya yüzeyine yakınken hissettikleri doğal aşağı doğru ivmelenmenin nedenini hiçbir zaman aramadı. 7. Konu'da hareketin, mekaniğin ve kütleçekimin niceliksel yasalarını tam olarak belirtenin Isaac Newton olduğunu göreceğiz. Bununla beraber, Galilei bir cismin ağırlığıyla hızının çarpımı diye tanımladığı momentum denen bir nicelik kullandı ve bir cismin *eylemsizliği*, yani cismin içinde bulunduğu hareket halinde devam etme eğilimini veren özellik kavramını da oluşturdu. Galilei'nin eylemsizlik anlayışı tam olarak doğru değildi ve günümüzdeki eylemsizlik düşüncesi onunki yerine Descartes, Christiaan Huygens (1629-1695) ve Newton'unkilere dayanır.

Söyleşiler'deki iki karakter Simplicio ile Salviati arasındaki bir fikir alışverişinde Galilei, eğik bir düzlemden aşağıya doğru bırakılan düzgün bir top, ivmeleneceği ve hızını sürekli olarak arttıracağından ve yukarı doğru yollanan da durana kadar sürekli olarak yavaşlayacağından, yatay bir yüzeyde atılan bir topun bu yüzeyde hızı hiç değişmeden hareket etmeye devam edeceğini öne sürer. Bunu doğrulamak için Şekil 6.3'te resmedildiği gibi, hareket eden bir geminin direğinden bırakılan ağır bir topun güvertede direğin dibine (direğin arkasına değil) düştüğü gerçeğini kullandı. Dolayısıyla, kendi haline

bırakılan bir cisim, içinde olduğu hareket halinde devam edecektir. Fakat bunun düzgün doğru boyunca bir hareket mi, yoksa Dünya yüzeyine paralel bir çember boyunca bir hareket mi olacağı açık değildir. Bazı parçalarda onun için doğal ya da eylemsiz hareketin sanki ne yükselen ne de düşen, ama Dünya merkezinden her zaman eşit uzaklıkta kalan hareket olduğu görülür.[9]

Descartes, eylemsizlik ilkesini gerektiği gibi ifade etti: Her cisim, bir sınırlama altında olmadığı sürece, düzgün doğrudaki hareketini devam ettirmek (ya da hareketsiz kalmak) eğilimindedir. Descartes, *Felsefenin İlkeleri*'nde (1644) bunu aşağıdaki gibi belirtir.

> XXXVII. *Doğanın birinci yasası: Her şey, içinde olduğu sürece her zaman aynı durumda devam eder ve bir kere hareket ettirilen her zaman hareket etmeye devam eder.*
> Her şey, basit ve bölünmemiş olduğu ve içinde olduğu sürece her zaman aynı durumda kalır ve dış bir etken tarafından neden olunmadıkça hiçbir zaman değişmez.
>
> . . .
>
> XXXIX. *Doğanın ikinci yasası: Bütün hareketler kendiliklerinden düzgün bir doğrudadır ve dolayısıyla bir çemberde hareket eden bütün cisimler her zaman tanımladıkları çemberin merkezinden uzaklaşma eğiliminde olurlar.*
> Kendi haline bırakılan bir cismin bütün parçaları, hiçbir zaman eğrilen bir doğru boyunca değil, aksine yalnızca düzgün bir doğru boyunca hareket etmeye devam eder... ve bütün eğrisel hareketler her zaman zorlamadır.[10]



Şekil 6.3 Eylemsiz harekete bir örnek

Descartes eylemsizliği böyle tanımlarken, 11. Konu'da geri döneceğimiz sonsuz evren fikrini ileri sürdü.

Huygens, *Çarpışan Cisimlerin Hareketi*'nde aşağıdakini birinci hipotezi olarak aldı.

> Hareket halinde olan herhangi bir cisim, engellenmedikçe, daima aynı hızda ve düzgün bir doğruda hareket etmeye devam edecektir.[11]

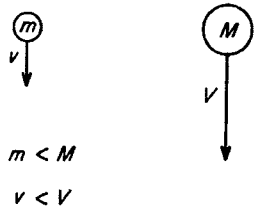
1650'lerin ortalarında yazılmış olan bu eser, Huygens'in ölümünden sekiz yıl sonra, yani 1703 yılına kadar yayınlanmamıştı. Bu aksiyom, onun tarafında herhangi bir sav ya da gerekçe olmadan, yalnızca belirtildiğine göre eylemsiz hareket kavramı o sıralarda çok fazla 'ortalıkta' olmalıydı. Eylemsizliğin bu ifadesi daha sonra Newton'un *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*'sının (*Doğa Felsefesinin Matematik İlkeleri*) - ünlü *Principia* (bakınız 7. Konu) - I. Yasa'sı olarak verdiğine çok benzerdir.

Galilei'den Newton'a kadar uzanan bu düşünce dizini, ortaya doğal hareketin yeni bir tanımını çıkardı. Artık her cismin kendine ait bir doğal hareketi (toprak için aşağı doğru, ateş için yukarı doğru düzgün doğrusal, gökcisimleri için düzgün dairesel hareket gibi) hali yoktu, aksine bütün serbest cisimlerin evrensel hareketi düzgün doğrusal hareketti (ya da hareketsizlikti). Bu eylemsizlik yasasıdır. Bu modern eylemsizlik kavramı yalnızca Galilei'yle başlamadı ve Aristocu değişik cisim tipleri için değişik doğal hareketler kavramından ani bir kopuş olarak oluşmadı. Kısım 6.1'de gördüğümüz gibi, Aristo'nun "sabit bir hız için sabit bir kuvvetin sürekli etkimesi gerekir" inancından (günümüz eylemsizliğiyle benzer bir tarafı olan) itki kavramına yavaş bir evrim vardı.[12] Bu, Galilei'nin büyüklüğüne gölge düşürmez, yalnızca onu tarihsel bir bakış açısına yerleştirir.

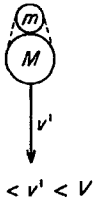
6.5 Galilei'nin Aristo Hakkında Görüşleri

Şimdi Galilei'nin, bir cismin düşüş hızının ağırlığıyla orantılı olduğunu söyleyen Aristocu dogmayı çürütme girişimini inceleyelim.

(Aşağıdakilerde Galilei'nin ağırlığı, bugün bizim yaptığımız gibi, hafif-ağır anlamında kullandığına dikkat ediniz. Bu konuda 2.4 kısmına bakınız.) Aristo sık sık önsel (a priori) düşünmesiyle eleştirildiği halde, Galilei kendisi Aristo'nun düşen cisimlerle ilgili öğretisinin kendi içinde çelişik olduğunu kanıtlamak için şu savı önermiştir: m ve M, sırasıyla, hafif ve ağır taşları temsil ediyorlarsa, bu durumda, Aristo'ya göre, M yere m'den daha hızlı düşmelidir (Şekil 6.4'te belirtildiği gibi $v < V$). Şimdi M ve m'yi v' hızıyla düşen tek bir cisim oluşturacak şekilde (Şekil 6.5'te gösterildiği gibi) birbirine bağlayın. O halde M, m'nin daha hızlı düşmesine neden olurken, m de M'yi yavaşlatmalı ($v < v' < V$). Bununla beraber, ($m + M$), M'den daha ağır olduğu için tek başına M'nin düştüğünden daha hızlı düşmelidir ($v' > V$). Galilei bunun Aristo'nun hipotezinde bir tutarsızlığa (aynı anda hem $v' < V$, hem de $v' > V$) neden olduğunu öne sürer.



Şekil 6.4 Aristo'nun serbest düşmesinin Galilei'ye göre temsili



Şekil 6.5 Birleştirilmiş iki ağırlık

Bu, eğer $v = v' = V$ ise kaçınılabilir: Bütün cisimlerin aynı hızla düştüğünün ifadesi. Galilei haklıysa ve m ile M'nin aynı hızla düşmeleri gerektiği sonucunu çıkarabilirsek, neden bunun böyle olduğunu

gözlemlemek için deneyler yapmaya gerek duyuyoruz? Havada bırakılan bir bozuk parayla bir tüy nasıl oluyor da aynı hızla düşmüyorlar?

Burada Galilei'nin açıkça belirtilmemiş, ama ima edilen, bir cismin düşme hızının şeklinden (tam olarak doğru değil) ve hızından bağımsız olduğu ve yalnızca ağırlığına bağlı olduğu gibi, bazı varsayımlarını çözümlemeliyiz. Galilei'nin savını doğru olarak kabul etsek bile, varabileceğimiz tek sonuç, değişik cisimlerin değişik (sabit) hızlarda düştükleri varsayımının doğru olmadığıdır. Bu, bütün cisimlerin aynı (sabit) hızla düştüklerini söylemekle aynı şey değildir. Düşmezler ve Galilei bunu biliyordu. Bu büyük oranda Aristo'nun konumunu değersizleştirmek ve sonuç çıkararak, Galilei'ninkini desteklemek için kullanılan bir polemik aracıydı. Dahası, bir Aristocu Galilei'ye $(m + M)$ cisminin doğasının m ve M'nin birleştirilmiş doğalarından farklı olduğunu ya da $(m + M)$'nin (Aristo'nun düşüncesine göre hızın bir ölçüsü olan) ağırlığının tek başına M ya da m'ninkiyle aynı olduğunu ve böylece hepsinin ortak bir hızla düşeceğini ileri sürerek karşı çıkabilirdi. (Aslında Galilei kendi çıkarları için tam da böylesi bir üstünlük kurabilmek için bu tartışmaya devam eder.)

Bununla birlikte, Galilei deneye başvurmaktan kaçınmaz, fakat daha sonra aynı metinde sözcüsü Salviati'ye şunları anlattırır:

> Aristo, 'yüz kübit (ç.n.: 43-56 cm arasında, bir dirsek uzunluğu kadar eski bir uzunluk ölçüsü birimi) yüksekliğinden düşmekte olan yüz librelik (ç.n.: yaklaşık 454 gr'a eşdeğer bir kütle ölçüsü birimi) demir bir topun, bir librelik bir topun tek bir kübit düşmesinden daha önce yere ulaşacağını' söyler. Ben ikisi de aynı anda yere ulaşacak derim. Sen deneyi yaparak, büyük olanın küçüğü iki parmak genişliği kadar geride bıraktığını bulursun, yani küçük olan yere ulaştığında diğeri ondan iki parmak genişliği uzaklıktadır...[13]

Yeri gelmişken, Galilei gerçekten de Aristo'ya haksızlık ediyordu; çünkü bu alıntının doğrudan doğruya Aristo'dan alındığı iddia edilen ilk cümlesi Aristo'nun mevcut eserlerinde gözükmüyor.[14]

Ünlü Pisa'nın Eğilen Kulesi 'deneyine' tüm cisimlerin aynı hızda düştüklerinin kanıtı olarak sık sık atıfta bulunulur. Galilei'nin

genellikle kendisine mal edilen efsanevi Eğilen Kule gösterimindeki sonuçları gerçekten elde edip edemeyeceği hakkında hüküm vermeye çalışalım. Tabii ki burada modern kuramsal mekaniğin 'anladığımız doğasını' kullanıyoruz.[15] Havanın direnci uygun bir şekilde göz önüne alındığında, aynı malzemeden yapılmış (diyelim çelik) ve aynı anda serbest bırakılmış iki küre için şu sonuçlar elde edilir: Herhangi bir *t* anında, daha büyük olan daha küçük olandan daha fazla yol (tabii ki, ikisinin de aynı yükseklikten ilk anda hareketsiz başladıklarını varsayarak) kat edecektir (ve dolayısıyla önde olacaktır). Yerden 200 ayak [61,0 m] yüksekten bırakılan kabaca 100 librelik [45,4 kg'lık bir kütleye eşit] ve 1 librelik [0,454 kg] toplar için, büyük topun aynı anda serbest bırakılışlarmdan 3,55 s sonra yere çarpacağını ve o sırada küçük topun yerden yaklaşık üç ayak [0,91 m] yükseklikte olacağını hemen hesaplayabiliriz. Dolayısıyla Galilei öne sürdüğü sonuçları, yani topların yere çarpma anında aralarında dikey yönde 'iki parmak genişliğinden' daha fazla bir uzaklık bulunmadığını, elde etmiş olamaz gibi gözüküyor. Küçük topun 200 ayak [61,0 m] düşmesi için geçen sürenin 3,58 s olacağı da basit bir hesapla gösterilebilir. Böylece, topların bırakılış anındaki yalnızca 0,03 s'lik bir hata yere çarpma anındaki bu üç ayaklık [0,91 m] aralığın etkisini gizleyebilirdi. Bu, topların aynı anda serbest bırakılmalarını sağlamak için büyük dikkat harcanması gerektiği anlamına gelir. (Bir insan için tipik tepki süresinin yaklaşık 0,10 s olduğunu unutmayınız.)

Şimdiye kadar aynı malzemeden yapılmış (ya da aynı yoğunlukta) fakat değişik yarıçaplardaki iki cismin durumunu inceledik. Tersine, Galilei'nin de böyle yaptığına ilişkin belirtiler olan, aynı boyutlarda iki cisim olduğunu varsayın.[16] Özellikle 16 librelik [7,3 kg] bir çelik gülle ve (gülleyle neredeyse aynı boydaki) bir softbol (ç.n.: beyzbola benzer oyunda kullanılan, beyzbol topundan biraz daha büyükçe bir top) alalım. Her birinin yarıçapı $6{,}0 \times 10^{-2}$m civarındadır, fakat yoğunluklarının oranı yaklaşık yirmidir. Şimdi, bu çok farklı kütlelere ve neredeyse aynı boyutlara sahip iki cisim yüksek bir kulenin (yine 200 ayak [61 m]) tepesinden aynı anda bırakılırlarsa, aslında yere neredeyse birlikte çarpmazlar; fakat dikey yönde yirmi

ayaktan [6,1 m] fazla bir aralıkla ayrılırlar. Bu, yalnızca bir cismin içindeki harekete direnç gösteren (hava gibi) bir ortamdaki düşüşü için modern mekaniği temel alan hesaplamalarla desteklenmekle kalmaz,[17] doğrudan gözlemlerle de bulunmuştur.[18] Bir de, softbolun 200 ayağı [61,0 m] düşmesi için geçen süre 3,81 s'dir (ki çelik top için bu yalnızca 3,55 s'dir). O halde, bu durumda bu etkiyi gizlemek için bırakılış anında 0,26 s'lik bir hataya gerek vardır. Bu, bir önceki aynı malzemeden yapılmış farklı boylardaki iki cismin durumundan çok daha az olasıdır.

Galilei'nin ünlü Pisa'nın Eğilen Kulesi deneyini aslında hiçbir zaman yapmadığına ve ağır bir cisimle hafif birinin kulenin tepesinden aynı sürede düştükleri sonucuna varmadığına, diğerlerinin yanında, bu gerçekler işaret eder.[19]

6.A Galilei'nin *İki Yeni Bilim Üzerine Söyleşileri*

Galilei'nin, Aristo'nun hareket üzerine olan görüşlerini çürütmeyi denediği metinle başlıyoruz. Burada, *Söyleşiler*'in başka yerlerinde olduğu gibi, Galilei söyleşi biçimini kullanmıştı. Söyleşilerdeki üç kişi, Galilei'nin arkadaşı Filippo Salviati'ye (1582-1614) dayanarak geliştirdiği sözcüsü Salviati; bolca boş zamanıyla İtalyan entelektüelinin ta kendisi, pratik ve geniş fikirli biri, her durumu kendi değerleriyle değerlendirmeye yatkın ve Galilei'nin merhum arkadaşı Venedikli asil Giovanfrancesco Sagredo'ya (1571-1620) dayanarak geliştirdiği Sagredo; ve bilgiçlik taslayan bir Aristocunun karikatürü, artık kendi başına düşünemeyen bir dogma esiri olan Simplicio'dur.

> *Salviati*: Fakat, daha fazla deneye bile gereksinmeden, kısa ve kesin bir tartışma aracılığıyla, daha ağır bir cismin daha hafif olandan, ikisi de aynı malzemeden yapılmışlarsa ve kısacası Aristo tarafından sözü edildiği gibilerse, daha hızlı hareket etmediğini açıkça kanıtlamak olasıdır. Fakat, düşen her cismin doğa tarafından kararlaştırılmış belirli bir hıza, kuvvet ya da direnç kullanılmadıkça çoğaltılamayacak ya da azaltılamayacak bir hıza ulaştığını kabul edip etmediğini söyle bana Simplicio.

Simplicio: Tek bir ortamda hareket etmekte olan tek bir cismin doğa tarafından belirlenmiş ve momentum eklenmedikçe arttırılamaz ya da onu geciktiren bir direnç dışında azaltılamaz sabit bir hıza sahip olduğuna şüphe yoktur.

Salviati: O halde doğal hızları birbirinden farklı olan iki cisim alırsak, bunları birleştirdiğimizde daha hızlı olan daha yavaş olan tarafından kısmen geciktirilecek ve daha yavaş olan da daha çabuk olan tarafından biraz acele ettirilecektir. Bu görüş konusunda benimle aynı fikirde değil misin?

Simplicio: Şüphesiz haklısın.

Salviati: Fakat bu doğruysa ve büyük bir taş, diyelim, sekiz hızıyla hareket ederken daha küçük biri dört hızıyla hareket ederse, bunlar birleştirildiklerinde, oluşturdukları sistem sekizden daha az bir hızla hareket edecektir; fakat iki taş birbirlerine bağlandıklarında daha öncesinde sekiz hızıyla hareket edenden daha büyük bir taş oluştururlar. Dolayısıyla daha ağır cisim daha hafif olandan daha az bir hızla hareket eder; senin varsayımına aykırı bir sonuç. Böylece, senin daha ağır cismin daha hafif olandan daha hızlı hareket ettiği varsayımından, daha ağır cismin daha yavaş hareket ettiği sonucunu nasıl çıkardığını görüyorsun.

Simplicio: Tamamen kafam karıştı çünkü bana daha küçük taş daha büyüğe eklendiğinde ağırlığını arttırır gibi görünüyor ve eklenen ağırlığıyla hızını nasıl olup da arttıramadığını ya da, en azından, nasıl olup da azalmasını engelleyemediğini göremiyorum.

Salviati: Burada yine hatalısın Simplicio, çünkü daha küçük taşın daha büyüğe ağırlık eklediği doğru değil.

Simlicio: Bu gerçekten de benim anlayışımın ötesinde.[20]

İki Yeni Bilim Üzerine Söyleşiler'in Dördüncü Günü'nde Galilei eğik atışın parabolik hareket olduğunu gösterir.

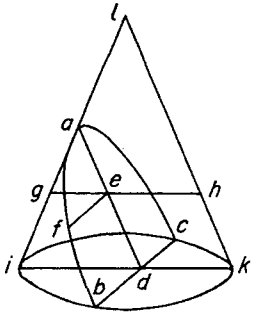
Şimdi hareketi, başka iki hareketin, yani bir düzgün bir de doğal olarak ivmelenen hareketin, birleşiminden oluşmuş bir cisme ait özellikleri açıklamaya niyetleniyorum...

. . .

Doğal olarak ivmelenen dikey hareketle birleştirilmiş ve düzgün yatay hareketle taşınarak fırlatılan bir cisim yarı-parabol bir yol betimler.[21]

Galilei ilk olarak bir parabolun, Appolonius'un bir koninin bir düzlemle kesilmesi tanımıyla (bakınız Kısım 5.A) betimlenir diye aldığı temel özelliğini anımsatmalıdır.

> *ibkc* dairesel tabanının üzerine çıkılmış, tepe noktası *l* olan bir dik koni hayal edin [Şekil 6.6]. Bu koninin *lk* kenarına paralel çizilen bir düzlemce elde edilen kesiti *parabol* diye adlandırılan bir eğridir. Bu parabolun *bc* tabanı *ibkc* dairesinin *ik* çapını dik açıklarda keser ve *ad* ekseni *lk* kenarına paraleldir; şimdi *bfa* eğrisi üzerinde aldığınız herhangi bir *f* noktasıyla *bd*'ye paralel *fe* düzgün doğrusunu çizin; o halde, *bd*'nin karesinin *fe*'nin karesine oranının, *ad* ekseninin *ae* doğru parçasına olan oranıyla aynıdır derim. *e* noktasından *ibkc* dairesine paralel, konide çapı *geh* doğru parçası olan bir dairesel kesit oluşturan bir düzlem geçer. *bd*, *ibk* dairesindeki *ik*'ya dik olduğundan *bd*'nin karesi *id* ve *dk* tarafından oluşturulan dikdörtgenin alanına eşittir; aynı şekilde *gfh* noktalarından geçen üstteki dairede de *fe*'nin karesi *ge* ve *eh* tarafından oluşturulan dikdörtgenin alanına eşittir; böylece *bd*'nin karesinin *fe*'nin karesine oranı, *id*·*dk* dikdörtgeni alanının *ge*·*eh* dikdörtgeninin alanına oranına eşittir. Ve *ed* doğrusu ***hk*** doğrusuna paralel olduğundan, *eh* doğrusu, *dk*'ya paralel olduğu için, ona eşittir; dolayısıyla *id*·*dk* dikdörtgeni alanının *ge*·*eh* dikdörtgeninin alanına oranı *id*'nin *ge*'ye oranı kadardır, yani *da*'nın *ae*'ye oranı kadardır; bundan dolayı *id*·*dk* dikdörtgeni alanının *ge*·*eh* dikdörtgeninin alanına oranı da, yani *bd*'nin karesinin *fe*'nin karesine oranı, *da* ekseninin *ae* doğru parçasına olan oranı kadardır.[22]



Şekil 6.6 Appolonius'un parabol tanımı

Bu geometrik önermeyi, çok açık bir şekilde temel cebirsel bir öneri biçimine, aşağıdaki gibi uyarlayabiliriz. Galilei

$$\frac{(bd)^2}{(fe)^2} = \frac{ad}{ae}$$

olduğunu göstermek için yola çıktı. Dairenin bir özelliğini kullanarak (aslında a dairenin yarıçapıyken, $y^2 = a^2 - x^2 = (a + x)(a - x)$ olduğunu kullanarak)

$$(bd)^2 = (id)(dk), \quad (fe)^2 = (ge)(eh)$$

yazmakla başlıyor. Paralel doğrular paralel doğrularla kesildiklerinde eşit parçalar oluştuğundan, $eh = dk$ olur ve böylece

$$\frac{(id)(dk)}{(ge)(eh)} = \frac{(id)(dk)}{(ge)(dk)} = \frac{(id)}{(ge)} = \frac{(ad)}{(ae)}$$

bulunur, burada son eşitlik *ida* ve *gea* benzer üçgenleri kullanılarak yazılır. Bu istenen sonucu verir.

Yatay olarak fırlatılan bir topun (Galilei'nin aslında incelediği durum) parabolik bir yol izleyeceğinin kanıtı şimdi çok açıktır çünkü

$$x = fe \propto t, \quad y = ae \propto t^2$$

ve böylece y, x^2 ile doğru orantılıdır. Bu bir parabol tanımlar.

Yararlı Kaynaklar

Allan Franklin'in *Orta Çağda Eylemsizlik İlkesi* ve Marshall Clagett'in *Orta Çağda Mekanik Bilimi* adlı eserleri mekaniğin bir bilim olarak ortaya çıkışının okunmaya değer öykülerini oluştururlar. Stillman Drake'in 'Galilei: Bir Biyografik Taslak' adlı eseri Galilei'nin yaşamındaki önemli olaylar için yararlı bir başvuru kaynağıdır.

Colin Ronan'ın *Galilei*'si modern bilimin bu önemli oyuncusunun genel bir yaşam öyküsüdür, Lane Cooper'm *Aristo, Galilei ve Pisa Kulesi* ve Michael Segre'nin 'Galilei, Viviani ve Pisa Kulesi' adlı eserleri ise bu ünlü 'deneyi' çevreleyen gerçek tarihsel kayıtları araştırırlar. Ernan McMullin'in 'Giriş: Galilei, Bilim Adamı' adlı denemesi Galilei'nin bilimsel çalışmalarının düşünce dolu bir özetini sunar.

Bölüm III

Newton evreni

Dünya'yı [Güneş etrafındaki yörüngesinde] hareket ettiren neyse, Mars ve Jüpiter'i hareket ettirene benzer bir şeydir... Eğer [birisi] bana bu hareket edebilen cisimlerin birini hareket ettiren gücün ne olduğunu anlatırsa, ona Dünya'yı hareket ettirenin ne olduğunu açıklayabileceğime söz veriyorum. Dahası, bana Dünya'ya ait şeyleri aşağı yönde hareket ettirenin ne olduğunu öğretebilirse de aynısını yapabilirim.

Galileo Galilei, *Başlıca İki Dünya Sistemi Üzerine Söyleşi*

Her cisim kendi hareketsizlik ya da düz bir doğru boyunca düzgün hareket durumunu, o durumu üzerine etki eden kuvvetlerce değiştirmek zorunda kalmadıkça korur.

. . .

Hareketteki değişiklik, etki eden hareket ettiren kuvvetle orantılıdır ve kuvvetin etki ettiği yöndeki düz doğrunun yönündedir.

. . .

Şimdiye kadar göklerde ve denizlerimizde olan olayları yerçekiminin gücüyle açıkladık, ama bu gücün nedenini belirlemedik. Şurası kesin ki, kuvvetini çok az dahi olsa eksiltmeden, Güneş'in ve gezegenlerin tam merkezine dek inen bir nedenden ileri gelmelidir; (mekanik nedenlerin yaptıkları gibi) üzerine etki ettiği parçacıkların yüzeylerinin niceliklerine göre değil, içerdikleri katı maddenin niceliğine göre işlemelidir ve erdemini tüm yönlerde son derece geniş uzaklıklara, her zaman uzaklıkların karesinin tersiyle azalacak biçimde yaymalıdır. Güneş'e doğru kütleçekim, Güneş'in tamamını oluşturan bütün parçacıklara doğru olan kütleçekimler tarafından meydana getirilmiştir ve Güneş'ten uzaklaştıkça, gezegenlerin günötesinin (ç.n.: İngilizce aphelion, Güneş ile gezegen arasındaki

en büyük uzaklığın) devinimsizliğinden açıkça görüldüğü gibi, Satürn'ün yörüngesine kadar olan uzaklıklarda tam olarak uzaklıkların karesinin tersiyle azalır; hayır dahası kuyrukluyıldızların en uzak günötelerine kadar bile, eğer bu günöteler de devinimsizseler, azalır. Fakat şimdiye kadar olaylardan bu özelliklerin nedenini keşfetmeyi başaramadım ve hiçbir hipotez öne süremiyorum; çünkü olaylardan indirgenemeyen her neyse hipotez diye adlandırılmalıdır ve hipotezlerin, ister metafiziksel ya da fiziksel, ister gizemli niceliklerden oluşmuş ya da mekaniksel olsun, deneysel felsefede yeri yoktur.

Isaac Newton, *Doğa Felsefesinin Matematiksel İlkeleri*

7

Newton'un *Principia*'sı

Bu ve sonraki iki konuda, klasik fiziğin kavramsal köşe taşını, yani Newton mekaniğini irdeleyeceğiz. Newton'un, usa vurmanın belli genel ilkelerini rehber alarak, Kepler yasaları biçimindeki Güneş Sistemi'nin düzenliliklerini kendi kütleçekim yasasına ulaşmak için nasıl kullandığını göreceğiz. Daha sonra bu düşünce işlemini tersine çevirerek, yalnızca Kepler'in yasalarını çıkarmamış aynı zamanda okyanustaki gelgit olaylarını da açıklamıştır. Newton'un kalıplaşmış imajı onu, Godfrey Kneller'in 1689 tarihli Cambridge Üniversitesi profesörü cüppesiyle olan portresindeki gibi, Akıl Çağı'nın en somut hali ve en yüksek noktası olarak gösterir.[1] Newton'un bazı geleneklere aykırı tanrıbilim konularında ve simyada ciddi ve çok uzun süreli ilgilerinin olduğunu öğrenmek bir sürpriz gibi gelebilir.

7.1 Isaac Newton

Isaac Newton, Galilei'nin ölümünden on bir ay sonra, 1642'de Noel günü, Lincolnshire'da Woolsthorpe adındaki küçük bir İngiliz köyünde dünyaya geldi. (1752 yılına değin İngiltere'de kabul edilmeyen Gregoryen takvimine göre, Newton'un doğum tarihi 4 Ocak 1643'tür.) Babası (1606-1642), ki onun da adı Isaac Newton'du, oğlunun doğumundan üç ay önce ölmüştü. Newton, hastalıklı bir bebekti ve uzun yaşaması beklenmiyordu. 1645'te annesi Hannah Ays-

cough (ölümü 1675) zengin bir papaz olan Barnabas Smith'le (1582-1653) evlendi ve genç Isaac'ı anneannesi tarafından büyütülmek üzere terk ederek, komşu bir köye taşındı. Newton yıllar sonra bile bu terk edişi nedeniyle annesine ve üvey babasına karşı şiddetli nefret duyguları beslemiştir. Bu, büyük olasılıkla daha sonraki yaşamındaki psikolojik dengesizliklerine ve güvensizlik duygusuna katkıda bulunan bir etkidir. Eğitimini on iki yaşında, bugün bile okul binasının pencere kenarında ona ait olduğu öne sürülen isminin ilk harflerinin kazılı olduğu görülebilen, Grantham'deki King's School (Kral'ın Okulu'na) gönderilene dek yöredeki okullarda aldı. Newton'un annesi 1653 yılında tekrar dul kaldı ve Isaac'ın çiftliklerine geri dönüp onu çekip çevirmesi gerektiğine karar verdi. Newton, kesin tarihi hakkında bazı belirsizlikler olmasına karşın, 1659 yılında Woolsthorpe'a dönmüştü. Kısa sürede çiftçilik konusunda hiç yeteneğinin olmadığı anlaşıldı ve böylece Newton 1661'de Cambridge, Trinity College'a kaydoldu. Orada kalış giderlerini, üyelerin ve daha varlıklı öğrencilerin hizmetçilik işlerini yaparak, günümüzde bazı üniversite öğrencilerinin eğitim masraflarını karşılamak için kafeteryalarda garsonluk yapmalarına benzer biçimde çalışarak karşıladı.

Kopernik, Kepler, Galilei ve Descartes eserlerini daha öncesinde yayınladıkları için, bu dönem genellikle bilimsel devrimin erken kısmı olarak düşünülen çağ olsa da, Avrupa ve İngiltere'deki üniversitelerin çoğu modası geçmiş Aristocu öğretinin kale burçları olarak kalmıştı ve Cambridge de bunlardan farklı değildi. Dahası, Cambridge zor zamanlar geçirmişti, politik entrikalar ve İngiltere'de yakın zamanda olan bir iç savaş sonucunda, birkaç kayda değer istisna dışında, çok sıradan bir akademik kadroya sahipti. Newton alışılmış klasik düşünürleri çalışarak işe koyulduysa da, kısa sürede daha modern düşünürlerin devrimci eserlerini keşfetti ve defterine '*Amicus Plato amicus Aristoteles magis amica veritas*' ('Platon benim arkadaşım, Aristo benim arkadaşım, fakat benim en iyi arkadaşım gerçektir') yazdı.[2] Matematikçi Isaac Barrow'un (1630-1677) derslerine devam etti ve Kepler'in *Optik*'ini ve Descartes'ın *Geometri*'sini öğrendi. Robert Boyle'un (1627-1691) kimya notları ve Yeniplatoncu Henry More'un

(1614-1687) felsefi incelemeleri daha sonraki düşünce biçimini büyük oranda etkiledi. ('Yeniplatoncu' sık sık mistisizmin ya da dinsel öğretinin bir çeşidiyle, örneğin St. Augustine'in (354-430) öğretilerindeki Hıristiyanlıkla, (özellikle temel formlar bakımından) kaynaşmış Platon öğretisini anlatmak için kullanılan bir terimdir.) More aracılığıyla Newton, dünyayı açıklamakta simyaya ve büyüye vurguda bulunan Hermesçi gelenekten haberdar oldu. Newton hem mekanikçi hem de Hermesçi felsefeleri, maddeyi edilgen gören ve uzayda maddenin dışında ve daha sonra 11. Konu'da göreceğimiz gibi, eterde bir etkinlik ilkesi arayan, hâlâ Yeniplatoncu bir gelenekte, kendi dünya görüşünde birleştirdi.

Newton, 1665'te Trinity College'dan mezuniyet diplomasını aldığı sırada, binom (ç.n.: çift değişkenli polinom) teoremini bularak matematikte yeni bir sayfa açmıştı. Flüksiyonlar (ç.n.: eski İngilizcede 'türev') yöntemini, ya da kalkülüsü (ç.n.: limit, türev ve integral konuları), ilk olarak 1664'ün kışında ve 1665'in baharında geliştirmeye başladı. Newton, analiz yönteminde doğruları, gittikçe küçülen doğru parçalarının eklenmesiyle değil, sürekli hareketle oluşturuluyor diye düşündü. Bu hareketin akıcı, ya da bağımsız, değişkeni zamandı. 1665'te büyük Veba Salgını Londra'dan Cambridge'e yayıldı ve Üniversite kapatıldı. Newton mezun olduktan sonra Lincolnshire'daki evine döndü. 1665-1667 yılları arasında - sık sık 1666'nın *annus mirabilisi* diye adlandırılan - kimya deneyleri yaptı, güneş ışığının spektrumunu çözmek için bir prizma kullanarak, ışık üzerinde ilk gözlemlerini yaptı, kalkülüsü keşfederek matematiksel araştırmalarına devam etti ve Ay'ı yörüngesinde tutmak için gerekli kuvvetleri göz önüne alarak (bakınız 8. Konu) mekanikteki ve kütleçekimindeki çalışmalarının temellerini attı. 1666 Ekimindeki *Flüksiyonlar Üzerine Kitapçık*'ta önceki iki yıldaki matematik araştırmalarını özetler. Böyle birçok çalışması yaklaşık çeyrek yüzyıl boyunca tamamlanamayacak ve yayınlanamayacaktı. Yıllar sonra Newton bu dönemi şöyle anımsayacaktı.

> 1665 yılının başında serileri yaklaşık olarak değerlendirme yöntemini ve herhangi bir Binomun her türlü 'asaletini' böyle bir seriye indirmenin

> Kuralını buldum. Aynı yıl mayıs ayında Teğetler yöntemini buldum..., Kasımda doğrudan flüksiyonlar yöntemini (ç.n.: türevi) ve sonraki yıl Ocakta, Renkler Kuramı'nı buldum; izleyen Mayıs'ta flüksiyonların tersi yöntemine (ç.n.: integral) girmiştim. Ve aynı yıl, Ay'ın yörüngesine dek uzanan yerçekimini düşünmeye başladım; Kepler'in kuralından (bir küre içinde dönen bir topun kürenin yüzeyine baskı yapacağı kuvvetin nasıl kestirileceğini bularak)... Gezegenleri Yörüngelerinde tutan kuvvetlerin, etrafında döndükleri merkezlerden olan uzaklıklarının kareleriyle ters orantılı olmaları gerektiğini çıkardım: Böylece Ay'ı yörüngesinde tutmak için gereken kuvveti Dünya'nın yüzeyindeki yerçekim kuvvetiyle karşılaştırdım, yanıtlarının oldukça yakın olduklarını buldum. Bütün bunlar 1665 ve 1666'daki iki veba yıllarındaydı. Çünkü o günlerde buluş yapmak için yaşamımın en olgun dönemindeydim, şimdiye dek aklımı o zaman olduğu kadar çok Matematik ve Felsefeye vermemiştim.[3]

Bugün çok az sayıda Newton uzmanı bu demeci doğru kabul edip ciddiye alıyor. Newton ünlü olduktan sonra yazılan bu ve diğer demeçlerde buluşlarındaki, özellikle kalkülüsle ilgili, öncül olma savlarını güçlendirmek için hatıralarını gölgelendirmeye eğilimliymiş gibi görünüyor.

Cambridge 1667'de yeniden açıldığında, Newton Trinity College'a Üye (ç.n.: İngiliz üniversite sisteminde kıdemli öğretim üyesine eşdeğer kadro) seçildi. 1669 yılının haziranında, olasılıkla sonsuz seriler üzerine olan çalışmasında öncüllük savını kanıtlamak için, aceleyle *De Analysi per Aequationes Numero Terminorum Infinitas*'ı (*Terimlerinin Sayısı Sınırlandırılmamış Denklemlerle Analiz*) toparladı. Sonraki ay bunu hâlâ Trinity'de Lucasian Profesörü olan Barrow'a iletti. Aynı yılın ekim ayında, yirmi yedinci doğum gününden biraz önce, Newton'un kendisi Barrow'un yerine geçti ve ikinci Lucasian Profesörü oldu. Profesörlüğünü, teoloji çalışmalarını sürdürmek için koltuğunu bırakan eski öğretmeni Barrow'un tavsiyesiyle aldı. Bu atama, Newton'u, her yıl vereceği seminerler dizisi dışında, her türlü öğretim sorumluluğundan kurtardı ve bütün gücünü araştırmaya ayırmasına izin verdi.

1670-1671 yılları arasında, 1666'daki flüksiyonlar kitapçığıyla *De Analysi*'sini bir araya getiren *De Methodis Serierum et Fluxionum*

(*Seriler ve Flüksiyonlar Yöntemi Üzerine*) adlı kitabını derledi. Newton bu *Flüksiyonlar ve Sonsuz Seriler Yöntemi* kitabını 1670'lerde yayınlamayı aklından geçiriyordu. Londra'daki 1666 Büyük Yangını'nı izleyen ağır bunalımda böyle matematik kitapları için bir pazar yoktu. Buna karşın, yayınlamama kararının temelinde büyük olasılıkla olası eleştiriler hakkındaki endişeleri vardı. Burada sözü edilen daha önceki matematik monografileri gibi bu eser de yayınlanmadı ve yalnızca görece seçkin bir matematikçiler çevresine dağıtıldı. *Yöntem*, nihayet 1736 yılında yayınlandı.[4] Bu eserde, bugün cebirsel bir fonksiyonun türevi diye adlandıracağımız konunun kurallarını verdi.

Newton, yıllık profesörlük seminerleri kapsamında 1670'de verdiği ilk seminerin konusu olarak optikteki araştırmalarını seçti ve 1672'de araştırma sonuçlarını Londra'daki Kraliyet Derneği'ne (Royal Society) yolladı. Derneğin kıdemli üyelerinden olan ve Newton'un bazı yorumlamalarını sorgulayan Robert Hooke (1635-1703) başta olmak üzere, kimileri dışında bu çalışma orada genel olarak iyi karşılandı. Newton sonradan Hooke ve diğerleriyle bir dizi uzayıp giden tartışmaya girişti. Sonra Newton, yaşamında daha sonraları da olacağı gibi, her türlü açık eleştiride aşırı sinirlendi. Sonuç olarak, yaklaşık 1678'den 1684'e değin kendi çalışmalarının inzivasına çekildi ve Hooke'un vazgeçmez bir düşmanı oldu. Herhangi bir şey yayınlamayı reddetti. Öyle görülüyor ki, Newton ilk sinir krizini o zaman yaşadı ve bu kendi kabuğuna çekilme sürecinde Hermesçi gelenek ve simyayla yoğun olarak ilgilenmeye başladı.

Günümüz okuyucusu Newton'un belki de simya ve eski kutsal kitaplara ilişkin metinler üzerine olan çalışmaları için *Principia* ve benzeri 'saygıdeğer' konularda olanlar kadar, hatta daha fazla, sözcük yazdığını öğrenince şaşırabilir. Tarihi deliller, bir arada ele alındığında, bütün bu farklı çalışmalarındaki nihai amacının, çağındaki karmaşanın kökünde yatan neden olarak gördüğü dinsizliğe karşı bir savunma olarak, gerçek dini yeniden tesis etmek olduğuna işaret ediyor. Newton'a bir keresinde Trinity College'in müdürlüğü önerilmişti, sonradan, King's College'in rektörü olmak istedi. İkisini de gerçekleştirmesi engellendi, çünkü Cambridge'de bir Üye olmak için bile

genellikle zorunlu olan (kilise tarafından) kutsanma işleminden geçmemişti. Daha önce, kutsanma işleminden geçmeden Lucasian Profesörü olabilmesi için bu koşuldan özel olarak muaf tutulmuştu. Kutsanmayı reddetmesinin nedeni, kendisinin Unitaryan (ç.n.: Tanrının 'üçlüğüne' değil, 'birliğine' inanan) mezhebinden olmasıydı ve bu sırrı yaşamı boyunca sıkı biçimde korunduğu halde, Trinity inancına (ç.n.: Kutsal Ruh, Baba ve Oğul diye Tanrının 'üçlüğü' inancı) geçemezdi.

1679'da Hooke, bir gezegenin üzerine etki eden kuvvetin, gezegenin Güneş'e olan uzaklığının karesinin tersiyle orantılı olarak değiştiği durumda yörüngesinin ne olacağının bulunması sorusunu sordu. Hooke, adını bir kuyrukluyıldıza veren gökbilimci Edmund Halley (1656-1742) ve 1666'daki Büyük Yangın sonrasında Londra'nın yeniden inşasının büyük kısmını yöneten ünlü mimar Sir Christopher Wren (1632-1723) bu soruyu çözememişti. 1684'te Halley Cambridge'de Newton'u ziyaret ediyordu ve ona çözümü bilip bilmediğini sordu. Newton düşünmeden çözümün elips olduğu yanıtını verdi. Halley bunu nasıl bildiği konusunda üsteleyince, Newton daha önce bir ara bunu kanıtladığı ama kanıtı kaybettiği yanıtını verdi. Halley'in, bulduğu sonuçları yayınlaması için Newton'u cesaretlendirmesi bu karşılaşmanın bir sonucuydu. 1685 ve 1686 yıllarında Newton, bunu 1687'de yayınlanan *Principia*'sında ayrıntılı olarak verdi. Ardından Hooke'la, eserin başkalarından çalındığına ilişkin suçlamaları yüzünden, *Principia* hemencecik rakipsiz bir bilimsel dehanın eseri olarak kabul edildiği için, çok az kimsenin ciddiye alabileceği tatsız bir kavgaya girişti. Newton hem çoktan beridir bir düşüşte hem de hasta olan Hooke'a karşı, ödün vermeksizin katı davrandı, ta ki Hooke 1703'te ölene dek. Ancak o zaman, Hooke artık Kraliyet Derneği'nin bir üyesi değilken, bu derneğin başkanlığını üzerine aldı.

Newton, *Principia*'yı yazmanın baskısının ve onu izleyen tartışmanın sonucu olarak, 1692-1693'te başka bir sinir krizi geçirdi. Londra'da yaşayan İsviçre doğumlu bir matematikçi, Newton'la ortak birçok ilgi alanı olan ve Newton'un yetişkin yaşamında ona en yakın kişi olan Nicholas Fatio de Duiller'le (1664-1753) olan arkadaşlığının

sona ermesiyle akli durumu daha da kararsız hale geldi. 1693 yılına gelindiğinde, bilimsel kariyerinin yaratıcı safhası sona ermişti ve arkadaşları akıl sağlığı bakımından ona bir çevre değişikliğinin gerekli olduğunu düşünerek, Newton'u 1696'da Darphane Güvenlik Müdürlüğü görevini kabul etmesi için ikna ettiler. Birkaç yıl içinde Darphane Müdürlüğü'ne terfi edildi. Newton bundan sonra Londra'da yaşadı ve önemli bir sosyal kişilik oldu. Darphanedeki görevlerini, hatta birçoklarını darağacına gönderdiği kalpazanların tutuklanması işlerine özel bir ilgi duyarak, büyük bir şevkle yerine getirdi.

Gottfried Leibniz'le (1646-1716) kalkülüsü önce kimin icat ettiği konusunda büyük bir tartışmaya girmesi bu sıralardadır. De Duiller, konunun bir çıban başı haline gelmesinde önemli bir rol oynadı ve Newton yaşamının geri kalan kısmında, Leibniz öldükten sonra bile, bunu aklından çıkarmadı. Bugün, Newton'un kendi kalkülüsünü ilk önce geliştirdiği ve bunu zamanında yayınlamayıp *Optics*'inin 1704 basımını beklediği, oysa Leibniz'in kendi kalkülüsünü 1684'te keşfedip yayınladığı açıkça görülüyor. İngiltere'yi Kıta ile karşı karşıya bırakan bu öncelik savaşının bir parçası olarak, çok güçlü bir İsviçreli matematikçi ve kalkülüs konusunda Leibniz'le birlikte çalışmış olan Johann Bernoulli (1667-1748) bir soru tanımladı[5] ve dünya matematikçilerine onu çözmek için altı ay süre tanıdı. Newton 1697'de tek bir gecede soruyu çözdü ve çözümü isimsiz olarak *Transactions of the Royal Society*'de (ç.n.: Royal Society'nin çıkardığı süreli bilimsel yayın) yayınladı. Bernoulli çözümü gördüğünde Newton'un elinden çıkmış olduğunu anladı ve '*Tanquam ex ungue leonem*' (yaklaşık olarak, 'Aslan pençesinden tanınır') dediği rivayet olunur.[6]

Newton 1703'te, daha önce de belirttiğimiz gibi, Kraliyet Derneği'nin Başkanı oldu ve 1705'te Kraliçe Anne tarafından İngiltere'de bu şekilde onurlandırılan ilk bilim adamı olarak şövalye ilan edildi. Yaşı ilerleyince kişiliği oldukça yumuşadı. Ölümünden yalnızca iki yıl önce yeğenine şöyle dedi:

> Dünyaya nasıl göründüğümü bilmiyorum; fakat kendime, yalnızca deniz kıyısında oynayan ve arada sırada düzgün bir çakıl taşı ya da olağandan

> daha güzel bir deniz kabuğu bularak dikkatini dağıtan, ama bu arada gerçeğin büyük okyanusu, önünde keşfedilmemiş uzayıp giden bir çocuk olmuşum gibi geliyor.[7]

Newton 20 Mart 1727'de safra taşı hastalığından öldü. Ölümünden kısa süre sonra naaşı devlet büyüklerine yapılan törenlerdeki gibi yatırıldı ve daha sonra Westminster Abbey'de (ç.n.: Londra'nın ünlü manastırı ve yanındaki mezarlığı) toprağa verildi. Günümüzde Manastır'ı ziyaret eden biri Newton'un anısına dikilmiş olan heykeli görebilir, ki bu heykelin yanında yalnızca Newton değil, araştırmaları modern elektromanyetik kuramının temellerini atan Michael Faraday (1791-1867) ve James Maxwell de (1831-1879) gömülüdür.

7.2 Newton'un Bilim Felsefesi

3. Konu'da gördüğümüz gibi, bilime yaygın bakış, bilimsel yöntemin birbirini izleyen adımlardan - gözlem, hipotez, öngörü, doğrulama - oluştuğunu söyler. Bu işlemle bilimin daha da genel yasalara doğru ilerlediği görülüyor. Bilimin bu modelinin kökü, genellikle Bacon'ın *Yeni Organon*'una dayandırılır. Bacon burada silojist (ç.n.: bakınız Kısım 1.2) ya da tümdengelimci mantığın fazlasıyla kullanılmasını eleştirir ve doğa felsefesinde tümevarımın önemini irdeler.

> Fakat o halde yükselişi doğru bir hızda ve birbirini izleyen adımlarda belirli durumlardan daha az önemli aksiyomlara doğru, kesintilere ya da ihlallere uğramadan, daha sonra da aradakilere (biri diğerinin üzerine çıkarak) ve son olarak da en genel aksiyomlara doğru ilerlediğinde, bilimler için yalnızca iyi kehanette bulunabiliriz. Çünkü en aşağıdaki aksiyomlar sade deneylerden çok az farklıdırlar...
>
> . . .
>
> Aksiyomlarımızı tümevarımla oluştururken, çıkarttığımız aksiyomun yalnızca onu mantıksal olarak indirgediğimiz belirli örnekler için mi hesap edilebildiğini ve uydurulabildiğini, yoksa daha kapsamlı ve genel mi olduğunu incelemeli ve denemeliyiz.[8]

Newton, *Principia*'nın ilk basımındaki önsözünde, bununla büyük oranda tutarlı bir felsefi görünüm yansıtır:

> Bu çalışmayı felsefenin [yani, kesin doğal bilimin] matematiksel ilkeleri olarak sunuyorum, çünkü felsefenin bütün sorumluluğu bundan oluşuyor gibi gözüküyor - hareket olaylarından doğanın kuvvetlerini incelemek ve sonra bu kuvvetlerden diğer olayları göstermek; birinci ve ikinci kitaplardaki genel önermeler bu amaca yöneltilmişlerdir. Üçüncü Kitap'ta dünyanın düzeninin ayrıntılı açıklamasında buna bir örnek veriyorum; çünkü, daha önceki kitaplarda matematiksel olarak gösterilen önermelerle, üçüncüde gök olaylarından cisimleri Güneş'e ve birkaç gezegene doğru yönelten kütleçekim kuvvetlerini çıkarıyorum. Sonra bu kuvvetlerden, yine matematiksel olan başka önermelerle, gezegenlerin, kuyruklu yıldızların, Ay'ın ve denizin hareketlerini çıkartıyorum.[9]

Bu yaklaşım özellikle Newton'un; yerçekim kuvvetinin, kendine doğru çeken bir ters-kare kuvvet olduğunu çıkartmak için, gezegenlerin Güneş çevresindeki yörüngelerinin elipsler olduğu gözlemsel gerçeğini ve eşit zaman aralıklarında eşit alanların tarandığı gerçeğini kullandığı *Principia*'nın III. Kitap'ında açıktır. Gök olaylarından bu genellemeyi kullanarak, daha sonra I. Kitap'taki ilgili önermelere dayanarak, Kepler'in gezegenlerin hareketiyle ilgili üç yasasını çıkartabiliyor ve Ay (ve Güneş) tarafından dünyadaki denizler üzerinde yaratılan gelgit etkilerini (9. Konu'da göstereceğimiz gibi) çıkarabiliyor.

Principia'nın III. Kitap'ının başında Felsefedeki Akıl Yürütme Kuralları'nı belirtir.

> KURAL I
>
> Doğal şeylerin nedenlerinden oluşumlarını açıklamak için, hem doğru hem de yeterli olmayanları kabul etmeyeceğiz.
>
> KURAL II
>
> Dolayısıyla aynı doğal sonuçlara, mümkün olduğunca, aynı nedenleri atamalıyız.

KURAL III

Cisimlerin derece derece ne kuvvetlenen ne de hafifleyen ve deneylerimizin erişebildiği tüm cisimlere ait olduğu saptanan nitelikleri, var olan bütün cisimlerin evrensel nitelikleri olarak sayılacaktır.

KURAL IV

Deneysel felsefede olaylardan genel tümevarımla mümkün olduğunca kesin ya da doğruya çok yakın çıkarılmış önermeleri, hayal edilebilen aksi yöndeki hipotezlere bakmayarak, daha kesinleştirilebilecekleri ya da istisnalara maruz kalacakları başka olayların oluştuğu zamana dek inceleyeceğiz.[10]

Temel olarak, bunlar bize olası en az sayıda neden aracılığıyla açıklamalar aramamızı, benzer sonuçlar için ortak bir neden kabul etmemizi, incelediğimiz bütün cisimlerin ortak niteliklerini evrendeki tüm cisimlerin özellikleri diye almamızı ve gözlemsel verilerden dikkatle çıkarılan tümevarımları başka olaylarla çürütülene dek genel olarak doğru olarak kabul etmemizi vurgulamaktalar. Bu, bir hipotezin sonuçlarının doğruluğunun, hipotezin kendisinin doğruluğunun göstergesi olarak kullanıldığı retrodüktif (ç.n.: bakınız Kısım 3.5) akıl yürütmenin özüdür.

Newton'un doğa felsefesine yaklaşımı sık sık *Principia*'nın sonunda yer alan Genel *Scholium*'daki (ya da açıklamalardaki) *hypotheses non fingo*suyla ('Ben hipotezler uydurmam (ya da yapar gibi görünmem)') karakterize edilir.

> [Ben] hiç hipotez uydurmam; çünkü olaylardan çıkarılmayan her neyse hipotez diye adlandırılmalıdır ve hipotezlerin, metafiziksel ya da fiziksel olsun, anlaşılmaz nitelikli ya da mekaniksel olsun, deneysel felsefede yeri yoktur. Bu felsefede belirli önermeler olaylardan çıkarılır ve sonrasında tümevarımla genelleştirilirler. Nitekim cisimlerin delinmezliği, hareketliliği ve itkisel kuvveti ve hareket ve yerçekim yasaları böyle keşfedildi.[11]

Optics'indeki Sorular kısımlarından birinde aynı konuya geri döner.

> Doğa felsefesinin asıl işi, olaylardan hipotezler uydurmadan akıl yürütmek ve sonuçlardan nedenleri çıkartmaktır...[12]

Bu, çoğunlukla Newton'un, bilimin tek yasal etkinliğini, duyularla doğrudan gözlemlenemez daha uzak nedenler ya da açıklamalar aramadan, doğadaki olayların incelenmesinden tümevarımla yasaların çıkarılması olarak aldığı anlamında yorumlanır. Bu böyle değildir. Başlangıç olarak *Optics*'teki bu alıntı, Newton'un ışığın yayılmasını açıklayabilecek (13. Konu'da inceleyeceğimiz) eterin varlığı hakkında fazlasıyla spekülatif olduğu bir metinde yer alır. Matematiksel ve tümevarımsal düzeyde kalmaya dikkat ettiği *Principia*'sında bile şöyle der:

> Matematikte kuvvetlerin niceliklerini, varsayılan koşullara bağlı olarak orantılarıyla (ç.n.: büyüklüklerini kastediyor) inceleyeceğiz; sonra, fiziğe girdiğimizde, bu orantıları doğanın olaylarıyla karşılaştıracağız, ki bu kuvvetlerin hangi koşullarının değişik çeşitlerdeki kendine çeken kuvvetlerden hangisine uyduklarını bilebilelim. Ve bu hazırlık yapılırken, kuvvetlerin fiziksel türleri, nedenleri ve orantıları hakkında daha güven içinde akıl yürütürüz.[13]

Yani, çalışmak zorunda olduğumuz üç değişik düzey vardır: Belirli kabullerin ya da aksiyomların gerektirdiklerini analiz ettiğimiz matematiksel (ya da tümdengelimsel); olası birçok aksiyom ya da yasadan hangilerinin gerçekte doğaya karşılık geldiğine karar vermek için verilerle karşılaştırmaları kullandığımız fiziksel ve son olarak, bu yasaların nedenlerini aradığımız felsefi düzey. *Principia*'da önemli olduğunu hissettiği üçüncüsüne hazırlık için ilk ikisini yapmaya çalıştı. Newton makroevrende (yani, duyularımızla algıladığımız dünyada) gözlemlediğimiz fiziksel olaylar için doğrudan duyularla gözlemlenemez bir mikroevren cinsinden her şeyi içeren son açıklamayı aradı. Makroevrende keşfedilen yasaların mikroevren düzeyinde de yürürlükte olduğunu varsaydığı benzerliğiyle akıl yürüttü. Newton, yaşamında mekanik ve yerçekimi yasalarının arkasındaki nedenlerin açıklamasını kurmayı hiçbir zaman başaramadı.

Newton *Principia*'sıyla Galilei ile başlayan bir devrimi tamamladı. Bu yaratıcı bilim adamları bize dünyamıza bakmanın, ya da onu anlamanın, yeni bir yolunu öğrettiler. Yasalarının, yalnızca verilerin ya da deneyim olgularının sınanmasıyla tümevarımsal olarak ulaşıla-

mayacak olması nedeniyle, bunun gerçekten yaratıcı (fakat kesinlikle keyfi olmayan) bir işlem olduğunun farkında olmak çok önemlidir. Ne tamamen keyfi ne de doğa tarafından eşsiz olarak dikte edilmeyen böyle yapılar ya da düzenler, yararlı olabilmek için dünyayla uyum içinde olmalıdırlar.

7.3 Newton'un *Principia*'sındaki Akıl Yürütmenin Ana Hatları

Principia'nın, mekanikle ve gezegenlerin hareketiyle ilgili olarak, genel yapısının bir özetiyle başlıyoruz. (8. ve 9. konularda aşağıdaki konulardan birçoğunun ayrıntılı incelemesine geri döneceğiz.) *Principia*, 'Kütle', 'momentum' ve 'kuvvet' (aşağıdaki Kısım 7.5) gibi temel bazı terimlerin tanımlarının derlemesiyle açılır. Mutlak uzay ve zamanın doğası hakkındaki ünlü *scholium* da burada bulunur. Bunları, hareketin üç yasası ve bunlardan çıkarılan, bugün kuvvetlerin vektörel toplamı yasası (Kısım 7.4) olarak adlandırabileceğimiz yasayı da içeren, bir dizi sonuç (ç.n.: İngilizce 'corollary') izler. Burada, *Principia*'da başka yerlerde olduğu gibi, hareketin ikinci yasası, modern gösterimle, $\boldsymbol{F}\Delta t = \Delta \boldsymbol{p}$ biçiminde kullanılır. Nicelik farkları cinsinden bu tip akıl yürütmeler ve ilişkiler Newton'un bu eserdeki sunumunda tipiktir. Bir cisme etki eden sürekli değişen bir kuvveti, sık sık her biri çok kısa bir zaman aralığında etki eden ya birbirini izleyen itkiler ya da sabit (sonlu) kuvvetler dizisinin limiti diye almıştı.

Cisimlerin Hareketi adındaki I. Kitap, alanların, doğruların ve yay uzunluklarının limitleri üzerine matematiksel lemmaları (ç.n.: matematikte ana teoremin öncülü ya da kanıtında yardımcı olan ikincil teorem) içeren I. Kısım ile başlar. Bütün kanıtlar, sonradan önemini kavradığımızda Newton'un kalkülüs kavramlarını öne sürdüğünü görebilsek bile, geometri kisvesi altında yapılırlar. Newton, belirli sonuçlar keşfettiğini iddia ettiği yöntem (flüksiyonlar ya da nicelik farkları ve limit argümanları - 'yeni' bir analiz) ile bunları sunduğu tarz arasındaki farklılık hakkında 1715 civarlarında aşağıdakileri yazmıştı.[14]

> Yeni *Analiz* yardımıyla *Principia Philosophiae*'[m]daki (*Felsefenin İlkeleri*) önermelerin çoğunu buldum: fakat Çok Eskiler (ç.n.: Antik çağdaki Yunanlıları kastediyor) her şeyden emin olabilmek için geometriye sentezci yaklaşımla (ç.n.: gözlemlerle doğruluğu defalarca sınama, analitik karşıtı) kanıtlanmadan hiçbir şeyi sokmadıklarından, önermeleri sentezci yaklaşımla kanıtladım, ki Göklerin Düzeni iyi geometri üzerine inşa edilebilsin. Ve bu yeteneksiz insanların bu önermelerin çıkarıldığı analizi anlamalarını şimdi zor kılıyor.[15]

Özellikle Kepler'in birinci ve ikinci yasalarının özgün kanıtları hakkında da yorumda bulundu.

> Flüksiyonların ters yöntemi [kalkülüs] ile 1667 yılında İlkeler'in [*Principia*'nın] ilk kitabındaki on birinci önerme olan Kepler'in gökbilimsel önermesinin (yani "Gezegenler elipsler üzerinde hareket eder") kanıtını buldum.[16]
>
> . . .
>
> [1679] civarlarında... bu dördülleme'ler (ç.n.: İngilizcesi Quadrature; matematikte bir eğrinin sınırladığı alanı bulmak için kullanılan integral) yönteminin yardımıyla, gezegenlerin Güneş elipsin daha aşağıdaki odağındayken çizilen bir Yarıçapla betimlenen, alanların zamanlara orantılı olduğu, Elipsler etrafında döndüğünü söyleyen Kepler'in Önermelerinin İspatını buldum.[17]

Newton kalkülüs üzerine araştırmalarını *Tractatus de Quadratura Curvarum*'u (*Eğrilerin dördülleme'leri Üzerine Ayrıntılı Bir İnceleme*)[18] *Optics*'inin 1704 basımında matematiksel bir apendiks (ç.n.: bir kitabın sonuna eklenen, kitabın bütünü için zorunlu olmayan, ama onu daha anlaşılır kılan yardımcı metin, ek) olarak yer almadan yayınlamadığı için, limitler üzerine bazı sonuçları *Principia*'nın I. Kitap'ının I. Kısmına dahildir.

II. Kısım, bir cismin sabit bir kuvvet merkezi etrafındaki hareketinde, yörüngesinin bir düzlem üzerinde kalması ve eşit zaman aralıklarında eşit alanların taranması için (Kepler'in ikinci yasası) çekici kuvvetin merkezi özelliğinin (kuvvet merkezine doğru: *merkezi kuvvet*) yeter ve gerek koşul olduğunu saptayan iki önerme ile başlar. (Newton'un kanıtının ayrıntıları için Kısım 9.1'e bakınız.) Bir başka

deyişle, günümüz terminolojisinde, (vektörel olarak) açısal momentum, zaman geçse de, sabit kalmalıdır (zamana göre korunmalıdır). III. Kısım, cisimlerin konik kesitlerdeki hareketini inceler. Burada Newton, merkezi bir odak etrafındaki düzlemsel bir konik kesitteki hareketin, uzaklığın karesinin tersiyle orantılı bir merkezi kuvvet yasası için gerek ve yeter koşul olduğunu ve uygun başlangıç verilerinin (konum ve hız) bu konik kesiti belirlediğini anlatır. Kepler'in üçüncü yasasını da kanıtlar. (Bu iddiaları Newton'un nasıl kanıtladığına Kısım 9.2'de geri döneceğiz.) VIII. Kısım, temel olarak, belirli herhangi bir merkezi kuvvet ve başlangıç konumu r_0 ve başlangıç hızı v_0 için ($\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$) hareket denkleminin $\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t)$ yörüngesini belirlediğini gösteren 'vardır ve tektir' tipi kanıtı olan bir önerme içerir. Son olarak, XII. Kısım'daki bir dizi önerme, zekice bir geometrik kanıt aracılığıyla, küresel bir kabuğun meydana getirdiği ve iki küresel kabuk arasındaki kütleçekim kuvvetlerini inceler.

Bir bakıma, Newton'un *Principia*'nın I. Kitap'ında incelediği merkezi kuvvet sorusu tamamen kuramsaldır. Yani, bir dizi teorem ve kanıt sunar, ama ne teoremlerin altında geçerli olduğu koşullar ne de bunların sonuçları gerçek fiziksel dünyayla ilgilidir. Bununla birlikte, Newton III. Kitap'ı *Dünyanın Düzeni*'nde, teoremlerini doğal olaylara uygulamakla uğraşır. Felsefedeki Akıl Yürütme Kuralları'nı ilk kez burada sayar. Daha sonra Jüpiter ve Satürn'ün ayları, Güneş etrafındaki gezegenler ve Dünya etrafındaki Ay için, Kepler'in gezegenlerin hareketi için üç yasasını destekleyen gökbilimsel veriler sıralanır. Açılış önermeleri bu verileri, I. Kitap'ın önermeleri aracılığıyla, yerçekimi kuvvetinin uzaklığın karesinin tersiyle orantılı bir kuvvet olduğunu çıkarmak için kullanır. Sonra, Ay'ı yörüngesinde tutan, uzaklığın karesinin tersiyle orantılı kuvvetin, bir cismin Dünya yörüngesinde g ivmesiyle (32 ayak/s^2 [9,80 m/s^2]) düşmesine neden olanla aynı kuvvet olduğunu gösterir. (Bakınız Kısım 8.1 ve 8.3.) Akıl Yürütme Kuralları'ndaki 'en az sayıda neden' kriteriyle uyumlu olarak vardığı sonuç, Ay'ı yörüngesinde tutanın, Dünya'nın kütleçekimi olduğudur. Daha sonra, yine gökbilimsel verilerinden, cisimlerin, her gezegenin kütleçekiminin etkisi altında ona doğru hareket ettiklerini öne sürer.

Newton son olarak, bir kere daha anlam çıkarmanın tümevarımsal kuralını kullanarak, herhangi bir parçacık çifti arasındaki evrensel kütleçekim yasasının sözlü ifadesine genelleme yapar. 8. Konu'da tartışacağımız gibi, Newton'un bu kütleçekim yasasını ifade edişi, yirmi yıldan fazla bir zaman aralığına yayılmış bir araştırma çizgisinin doruk noktasıydı. Bu kütleçekim yasasından, Kepler'in gezegenlerin hareketine ilişkin üç yasasına ulaşır. Newton bu yasalardan, gezegenlerin kendi aralarındaki kütleçekim etkileşimlerindeki küçük düzensizliklerin neden olduğu ufak sapmaları da tartışır.

7.4 Newton'un Üç Hareket Yasası

Şimdi *Principia*'nın başlangıcına dönelim ve içerdiği hareket yasalarını tartışalım. Newton, dinamik ve kütleçekim yasalarını birbirlerinden bağımsız olarak geliştirmediyse de, pedagojik nedenlerle bunları birbirlerinden ayrı olarak sunuyoruz. Dinamik konusuna geldik ve hareketin değişik hallerinin nedenleri üzerinde düşünmeliyiz. Kuvvetlerin, bir cismin hareketinin halini değiştirmeye neden olduğu bize oldukça açık görünür, oysa bunu tam olarak niceliksel ifade etmek kolay bir iş değildir. Newton önce bir cisimdeki madde miktarını (ya da kütleyi) tanımlamak zorundaydı. *Principia*'daki tanımı özellikle doyurucu değildir.

> Madde miktarı, yoğunluğundan ve yığınından (ç.n.: hacmi kastediyor) bir arada ortaya çıkan, aynısının ölçüsüdür.[9]

Bugün bunu "kütle, cismin yoğunluğuyla hacminin çarpımıdır" biçiminde ifade ederiz. Şimdi, doğal olarak, yoğunluğun ne olduğunu sorabiliriz. Yoğunluk, genellikle birim hacimdeki kütle olarak tanımlandığından, bu bizi başlangıç noktasına geri götürür ve bu böyle sürer gider. Bir cismin m kütlesini basitçe cismin doğası gereği var olan bir özelliği diye alırız ve onun cisimdeki 'şey' ya da madde miktarı olduğu sezgisel kavramını kullanırız. Daha sonra, kütlenin kullanıma uygun bir tanımını göz önüne alacağız.

Newton sonra hareket miktarını

> Hareket miktarı, hızdan ve madde miktarından bir arada ortaya çıkan, aynısının ölçüsüdür.[20]

olarak tanımladı. Modern terminolojide buna vektörel bir nicelik olan, $\boldsymbol{p}=m\boldsymbol{v}$ biçiminde yazılan, *momentum* diyoruz; burada m cismin kütlesi, $\boldsymbol{v}$ ise hızıdır.

Newton'un sık sık *eylemsizlik yasası* da denilen birinci hareket yasası, bir cismin, dışındaki birbirini dengelememiş kuvvetler tarafından etki edilmedikçe ya hareketsiz kalmaya ya da düz bir doğru üzerindeki düzgün hareketine devam edeceğini söyler. Dolayısıyla, tıpkı Descartes için olduğu gibi, doğal ya da sınırlandırılmamış hareket düzgün doğrusal hareket olur. Kuvvetler bir cismin çevresiyle olan etkileşimler sonucunda oluştuklarından ve bir cisim hiçbir zaman çevresinden tamamen ayrılamayacağından (yalıtılamayacağından), bir cisme hiçbir kuvvet etki etmeseydi ne olacağını yalnızca tahmin edebiliriz. Bir cisim ivmelenmiyorsa, ona etki eden (net) kuvvetin bulunmadığını söylemek aslında bir gelenektir. Gündelik deneyimlerimiz açısından bakınca, kendi haline bırakılan bir cismin sabit, doğrusal hareket etmeye devam edecek olması (yani, yavaşlamayacağı ve sonuçta da durmayacağı) açık olmaktan çok uzaktır. Aslında, (2.1) eşitliğinde ifade edildiği gibi, Aristo'nun görüşü sağduyumuzun sezgilerine çok daha yakın görünür. *Principia*'da birinci yasanın özgün ifadesi şöyledir:

> Her cisim, üzerine etki ettirilen kuvvetlerce değiştirmeye zorlanmadıkça, içinde bulunduğu hareketsizlik ya da dik doğru üzerindeki düzgün hareket halinde kalmaya devam eder.[21]

Burada 'dik doğru', 'düzgün doğru' yerine kullanılan modası geçmiş bir ifadedir.

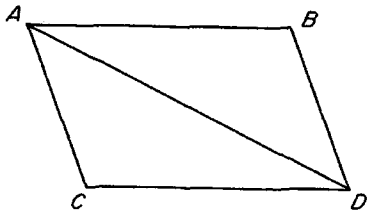
Newton'un ikinci hareket yasası, bir cisme etki eden kuvveti, cisimde oluşturulan hareket halindeki değişikliğe ilişkilendirmekte gereksindiğimiz niceliksel ifadedir.

> Hareketteki değişiklik, etki ettirilen hareket ettirici kuvvete orantılıdır ve kuvvetin etki ettiği dik doğrunun yönünde yapılır.[22]

Modern gösterimle: F kuvveti Δt süresi kadar etki ederse, Δp momentumdaki değişiklik $F\Delta t = \Delta p$ kadardır. (Aslında, Newton'un II. yasasının *Principia*'da ifade edildiği haliyle kelimesi kelimesine uyarlaması, Newton daha sonra yasayı bizim ifade ettiğimiz şekliyle kullansa bile, $F \propto \Delta p$ olurdu.) Bu bir bakıma klasik mekaniğin neredeyse tamamını içerir. Uygulamalarda çok sık olduğu gibi, m kütlesi sabitse, ilk yasayı bilinen şekliyle

$$F = ma \tag{7.1}$$

olarak yazabiliriz. Sırada bu eşitlik hakkında iki yorumumuz var. İlki, *Principia*'nın hiçbir yerinde $F = ma$ denkleminin yer almadığının değerinin bilinmesidir. Yasa sözel olarak ifade edilir ve *Principia*'da yapılan uygulamalardaki orantıların kurulmasında kullanılır. $F = ma$'nın önemini ve genel olarak uygulanabilirliğini İsviçreli matematikçi Leonhard Euler (1707–1783) 1752'de kavradı. Bu denklemi mekaniğin temel ilkesi olarak ifade eden ilk kişi oydu.[23] İkinci olarak, (7.1) denklemi a ivmesini içerdiğinden, bunu ölçmek için bir koordinat sistemi (ya da referans noktası) gerekir. İki gözlemci birbirlerine göre ivmelendirilirlerse ve her biri üçüncü bir cismin ivmesini kendisine göre ölçerse, iki gözlemci de cismin ivmesi için farklı değerler elde ederler. Bununla birlikte, gözlemciler birbirlerine göre ivmelenmemişlerse ikisi de cismin ivmesi için aynı değeri elde eder. Dolayısıyla, gözlemcinin ivmesine bağlı etkileri işe katmamak için (7.1) denklemini kendisi ivmelenmeyen bir koordinat sisteminde kullanmaya dikkat etmek gerekir. Bunlara *eylemsiz çerçeveler* diyoruz. Birçok durumda, eylemsiz bir gözlem çerçevesini, dünyaya göre hareket etmeyen biri olarak kabul edebiliriz. Böylesi pragmatik bir davranış, yine de, genel olarak eylemsiz bir gözlem çerçevesinin nasıl ayırt edileceğine ilişkin ilkenin bulunması sorusuna yanıt vermez.



Şekil 7.1 Kuvvetler için paralelkenar yasası

Bugün kullandığımız modern vektör gösterimi Newton'un zamanında var olmadığı halde, Newton bir cisme etki eden iki kuvvetin bileşkesi için paralelkenar yasasını ifade etmişti. *Principia*'daki üç hareket yasasının ifadesini hemen iki sonuç izler ve şöyle derler:

> Aynı anda iki kuvvet tarafından etki edilen bir cisim, aynı zamanda ayrı olarak bu kuvvetlerce kenarları tarif edeceği gibi bir paralelkenarın köşegenini de tarif eder.
> Bir cisim belirli bir sürede, A yerine ayrı olarak etki ettirilen bir M kuvvetiyle [Şekil 7.1] A'dan B'ye doğru düzgün bir hareketle taşınır ve aynı yere ayrı olarak etki ettirilen bir N kuvvetiyle de A'dan C'ye doğru taşınırsa, $ABCD$ paralelkenarının tamamlanmasına izin verin ve her iki kuvvetin de birlikte etki etmesiyle, aynı sürede köşegende A'dan D'ye doğru taşınacaktır.
>
> . . .
>
> Ve böylece herhangi bir AD dolaysız kuvvetinin bileşimi, AC ve CD gibi herhangi iki eğik kuvvet cinsinden ve tam tersine, AD gibi herhangi bir dolaysız kuvvetin AC ve CD gibi iki eğik kuvvete ayrışması açıklanır: Böylece bileşim ve ayrışım mekanikten bol bol doğrulanmış olur.[24]

Klasik mekaniğin temel yasalarını tamamlamak için, "bir cisim bir diğer cisme bir kuvvet uyguladığı zaman, diğer cisim ilk cisme ilk kuvvetle aynı büyüklükte fakat ilk kuvvete zıt yönde bir kuvvetle tepki gösterir" diyen Newton'un üçüncü yasasına ihtiyacımız var. Bu yasa, kuvvetlerin her zaman çift olarak oluştuklarını söyler. Etki ve tepki kuvvetlerinin değişik cisimlere etki ettiklerine dikkat ediniz. Bu gerçeğin önemini kavramama hatası, birçok ünlü paradoksun kaynağıdır. Newton bu yasayı

> Her etkiye karşı koyan eşit bir tepki her zaman vardır; ya da, iki cismin birbirleri üzerine karşılıklı etkileri her zaman eşittir ve karşıt kısımlara doğru yönelmiştir.[25]

biçiminde ifade etti. Daha sonra bunu aşağıdaki gibi ayrıntılı bir biçimde açıklamaya devam etti:

> Bir diğerini çeken ya da ittiren her neyse, öteki tarafından o kadar çekilir ya da ittirilir. Eğer parmağınızla bir taşa bastırırsanız, parmağınız da taş tarafından bastırılır. Eğer bir at bir iple bağlanmış bir taşı sürüklerse, at da (eğer öyle söyleyebilirsem) eşit miktarda taşa doğru geri sürüklenecektir; çünkü uzayan ip, kendisini gevşetmek ya da düzeltmek isteyen aynı çabayla, atı taşa doğru taşı ata doğru çektiği kadar çekecektir ve birinin ilerlemesini diğerininkine yardım ettiği kadar engelleyecektir.[26]

Newton üçüncü yasayı destekleyen akıl yürütmenin şöyle bir ayrıntılandırmasını da sundu:[27] Küresel bir dünyanın boş uzayda yalnız başına hareketsiz olarak durduğunu ve başka cisimlerce üzerine etki edilmediğini varsayın. Şimdi dünyanın birbiriyle temas halinde iki eşit yarıküreden oluştuğunu düşünün. Eğer etkiyle (bir yarıkürenin diğerine olan kütleçekim çekimi nedeniyle) ona olan tepki (diğeri tarafından) eşit olmasaydı, bu yarıküreleri ayıran düzlem üzerine net bir dengelenmemiş kuvvet etki ederdi. Bu, kürenin bu düzleme dik bir doğru boyunca ivmelenmesi sonucunu doğururdu. Dışarıdan etki eden kuvvetlerin olmadığı küresel olarak simetrik cisim anında sonsuza doğru ivmelenecekti. Bununla beraber, sorudaki simetri nedeniyle, tercih edilen bir yön bulunmadığını görüyoruz, bu yüzden küre hareketsiz kalmaya devam etmelidir. Dolayısıyla, bir yarıküreye diğeri tarafından uygulanan kütleçekim kuvveti, ikinci yarıkürenin birinci üzerine etkiyen tepki kuvvetine tam olarak eşit olmalıdır.

7.5 Klasik Mekaniğin Mantıksal Yapısı

Burada, Newton'un *Principia*'da ortaya koyduğu haliyle, hareket yasalarının mantıksal yapısı ve birbirleriyle iç içe geçmiş bağlılıkları

hakkında birkaç yorum sunuyoruz. Newton, sekiz tanımdan oluşan bir kümeyle başlar. I. tanım kütle hakkındadır ama, daha önce bu konuda gördüğümüz gibi, başladığı noktaya geri döner; çünkü aslında kütleyi yoğunluk cinsinden tanımlar. Bununla birlikte, bu sonuncu nicelik başka hiçbir yerde belirtilmemiştir. II. tanım momentumu öne çıkarır, fakat bu da kütleyi işe karıştırır. III.'den VIII.'ye kadar tanımlar değişik kuvvet çeşitlerini (eylemsiz, etki ettirilen ve *merkezcil*) tanımlar ve bir cismin hareket (ya da hareketsizlik) halini değiştirmek için bir kuvvetin gerektiğini ifade ederler. VI. tanım *merkezcil* ivmenin *merkezcil* kuvvetle orantılı olduğunu ifade eder.

Aslında kuvvetlerle ilgili tanımlarda dolaylı olarak içerilseler de, daha sonra I. (eylemsizlik) ve II. ($\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$) yasaları verilir. III. yasa (etki ve tepki) kuvvet ve dolayısıyla kütle kavramı açıklığa kavuşmadıkça (I. Tanım) tam bir anlama sahip olamaz. Bu yasaları, ilk ikisi kuvvetler için paralelkenar yasası ve kuvvetlerin vektörel özelliği olan bir dizi sonuç izler. Geri kalan dört sonuç, her cisim çiftinin birbirleri arasında çevrelerinde başka cisimlerin olup olmadığından bağımsız olarak etki-tepki kuvvetleri yarattıkları gerçeğini açarlar. Bugün bunu bütün kuvvetlerin iki-cisim kuvveti olduğunu söyleyerek başka bir şekilde ifade edebiliriz. Yani, verilen bir cisme etki eden net kuvvet yalnızca, o cisimle başka her cisim arasında ayrı ayrı yaratılan bütün kuvvetlerin (vektörel) toplamıdır. Bu son altı önerme, Newton tarafından sonuç diye adlandırılmış olsalar bile, hepsi yalnızca saf tümdengelimle daha önceki tanımlardan ve yasalardan çıkmazlar, gerçek dünyadaki kuvvetlerin doğasıyla ilgili bazı deneysel bilgileri de veri olarak içerirler.

Newton'un zamanından bu yana, Newton mekaniği sistemini kurmakta kullanılan varsayımlara açıklık getirecek ciddi girişimlerde bulunulmuştur. Bir örnek, Alman fizikçi ve düşünürü Ernest Mach (1838-1916) tarafından Einstein'ın klasik mekaniğin temelleri hakkındaki kendi yeniden düşünüşünde büyük etkisi olan eleştirel çalışması *Mekanik Bilimi*'nde verilir.

> Tamamen Newtoncu bakış açılarına sıkıca sarılsak ve ortadan kaldırılmayan ama yalnızca 'Zaman' ve 'Uzay' diye kısaltılmış imgelerle gizlenen,

> söz edilen karışıklıkları ve belirsiz özellikleri göz önüne almasak bile Newton'un öne sürdüklerini çok daha basit, sistem olarak daha iyi düzenlenmiş ve daha doyurucu önermelerle değiştirmek olasıdır.[28]

Mach daha sonra klasik mekanik sistemini inşa etmekte kullanılabilecek bir dizi kısa tanımı ve deneysel gerçeği sıralayarak devam etti. Aşağıda Fransız matematikçisi ve bilim felsefecisi Henri Poincaré (1854–1912) tarafından *Bilim ve Hipotez*'inde sunulan benzer tasarının özetini veriyoruz.

$\boldsymbol{a}$ ivmesi bir işlemle (seçilmiş bir koordinat sistemine göre uzunluk ve zaman ölçümleri cinsinden) kinematik olarak tanımlanır ve sorun çıkartmaz diye alınır. Kuvvet kavramı tanımımızın bir parçası olarak, birinci ve üçüncü yasaları kabul edelim. Yani, "düzgün doğrusal olarak hareket eden bir cisme hiç (net) kuvvet etki etmez" demeyi kabul ediyoruz. Cisimler birbirleriyle etkileştiklerinde (ki kuvvetlerin oluşturulmasının tek yolu budur) kuvvetlerin etki-tepki çifti şeklinde oluşmalarını da istiyoruz. Şimdi birinci ve üçüncü yasalar genel birer kabul oldular. İki cisim için cisimlerin göreli kütlelerini $(m_2/m_1) = (a_1/a_2)$ biçiminde tanımlayabiliriz. Sonrasında bu oranın, cisimlerin hızları ve ivmeleri değiştiğinde sabit kalıp kalmadığı artık deneysel bir sorudur. Son olarak kuvvet niceliksel olarak, ikinci yasa, yani (7.1) denklemi cinsinden tanımlanır. $\boldsymbol{F}$ için (yerçekimi gibi) bağımsız bir kural verilirse, $\boldsymbol{a}$'yı bulmak için (m daha önceden olduğu gibi belirlendikten sonra) ikinci yasayı kullanabiliriz. Poincaré sözlerini şöyle bitirir:

> İvme ve kuvvetlerin bileşkesi yasaları yalnızca keyfi kabuller midir? Kabul, evet; keyfi, hayır - bilimin kurucularının onları benimsemelerine yol açan ve kusurlu oldukları halde, onların bu benimsenişlerini haklı kılmaya yeterli olan deneyleri göz önünde bulundurmasaydık öyle olurlardı. Zaman zaman dikkatimizin bu kabullerin deneysel kökenlerine kaymasına izin vermek iyidir.[29]

Klasik mekaniğin temeline açıklık getirmeye çalışan bu yorum ve girişimlerin hiçbiri, Newton'un başarılarını eleştiriyor biçiminde alınmamalıdır. Bu yasaları yaratıcı bir biçimde keşfetti ve bir cismin

hareketini belirleyen nicelikleri (kuvvet, kütle ve ivme) doğru olarak teşhis etti. İlk kez Galilei tarafından belli belirsiz algılanan mekaniğin temel gerçeklerini, kendinden önce gelen herkesten daha açık ve özlü olarak ifade etti: Her cisim çifti, diğer tüm cisimlerden ayrı ve bağımsız olarak, ivme çiftleri belirler ve bu ivmelerin oranı her çiftin kendine özgü özelliğidir. Şimdi bu değişmez özelliğe bu cisim çiftinin kütlelerinin oranı diyoruz.

Yararlı Kaynaklar

Louis More'un *Isaac Newton*'u Newton'un iyi bilinen, daha eski bir yaşam öyküsüyken Richard Westfall'un ünlü *Never at Rest*'i (ç.n.: Türkçe'ye çevrilmemiş bu kitabın başlığı İngilizce bir söz oyunu, hem 'her zaman huzursuz' hem de 'hiç durmadan hareket eden' anlamında) Newton hakkında çok daha modern araştırmaların sonuçlarını da içeren bir baş yapıttır. John Keynes'in 'Newton the Man'i (ç.n.: 'İnsan Newton') Newton'un 'alışılmışın dışında' araştırmalarına dair en erken akınlardan biriydi. Betty Dobbs'un *Newton'un Simyasının Temelleri*, bu konuyu çok daha bütün olarak geliştirir ve Frank Manuel'in *Isaac Newton'un Bir Portresi*, büyük bilim adamının bir psikoanalizine girişir. Ernan McMullin'in *Newton'un Madde ve Etkinlik Üzerine Düşünceleri*, Newton'un maddenin doğası ve onun çekici gücünün açıklaması için fikirlerini inceler. Newton'un çağından günümüze değin fizikte kuramsal akıl yürütmenin teknik açıdan çok daha fazla çaba gerektiren bir özeti Malcolm Longair'in *Fizikte Kuramsal Kavramlar*'ında bulunabilir.

8

Newton'un Evrensel Kütleçekim Yasası

Newton'un yerçekimi kuramının tipik ders kitaplarına özgü bir özeti, onun akıl yürütüşünü bilimsel yöntemin uygulamasında bir model olarak sunar. Senaryo kabaca şöyledir: Newton, Ay'ın dairesel yörüngesinde kalabilmesi için, Dünya'ya doğru hangi hızla 'düşmesi' gerektiğini göz önüne aldı ve bu hareketi oluşturmak için ne büyüklükte merkezcil ivme gerekeceğini sordu. Dünya tarafından Ay'ın konumunda oluşturulan yerçekimi ivmesinin, Dünya'nın yüzeyindeki bilinen g değerine oranla, Dünya'nın merkezinden olan uzaklığın karesinin tersiyle azalması gerektiği sonucuna vardı. Buradan yapılan cesur bir genelleme ya da tümevarım, herhangi iki parçacık arasındaki evrensel kütleçekim yasasını verdi. Newton, Dünya ile Ay'ın nokta parçacık değil, yayılan cisimler oldukları gerçeğinden rahatsız oldu. Kalkülüsü keşfederek, düzgün küresel bir kütlenin dışında kalındığı sürece, kürenin küre merkezinde yer alan eşit kütleli bir nokta parçacıkla aynı yerçekimi kuvveti oluşturduğunu kanıtlayabildi. Sonra, yerçekimi yasasını ve kendi hareket yasalarını kullanarak, Kepler'in gezegenlerin hareketi hakkındaki üç yasasını çıkardı.

Daha önceki konularda belirttiğimiz ve şimdi burada ve bir sonraki konuda daha ayrıntılı olarak gösterdiğimiz gibi, gerçek gelişim,

Newton tarafından *Principia*'sında sunulandan bile biraz daha dolambaçlıydı ve bilimin doğası üzerine kendi felsefi görüşünü yansıtıyordu.[1] Newton, 1660larda ve sonrasında, gezegenlerin hareketleri hakkında bir bilmecenin parçalarıyla karşı karşıyaydı. Kepler'in gezegenlerin hareketiyle ilgili üç gözlemsel yasasını, Galilei'nin Dünya'daki cisimler için hareket yasalarını bildiği gibi biliyordu. Kepler, gezegenlerin elipsler üzerinde hareket ettiğine inanırken, Galilei, çemberler üzerinde hareket ettiklerine inanıyordu. Kepler'e göre gezegenler, dönmekte olan bir güneşten etrafa yayılan, 'bisiklet tekerleğinin telleri' gibi, kuvvet 'telleriyle' hareket ettirilirken, Galilei'nin eylemsizlik yasası, dairesel hareketin kendi kendini sürdürdüğünü söylüyordu. Bu karışıklığa ek olarak, Descartes, cisimlerin düzgün doğrusal harekette kalacağını söyleyen bir eylemsizlik yasası ifade etmişti.

Ona göre, gezegenler izledikleri eğri yollarda her yeri kaplayan kozmik bir eterdeki girdaplarla tutuluyorlardı. Newton, bu parçalara ayrılmış gerçekler ve kısmi doğrular karışımını alıp, hem gökteki hem de karadaki cisimlerin hareketini doğru olarak açıklayan birleşik bir yasalar kümesini, sabırla ve akıl dolu çabalarla çıkartmıştı. Bu konuda, bu güzel sentezin bazı sonuçlarını inceleyeceğiz.

Newton'un gök cisimlerinin hareketiyle ilgili çalışmalarındaki önemli ilerlemelerden biri, bu dünyada keşfedilmiş yasaları alıp, onları Ay'ın ve gezegenlerin hareketine uygulamasıydı. Cisimlerin neden Dünya'ya düştüklerini anlasaydı, Ay'ı yörüngesinde tutanın da ne olduğunu anlayacağını fark ettiğinde, Galilei de benzer bir öngörüye sahip olmuştu. Bu Galilei'nin Salviati'ye *Başlıca İki Dünya Sistemi Üzerine Söyleşi*'sinde (III. Bölüm'ün (*Newton evreni*) ilk alıntısına bakınız) söylettikleriydi.

8.1 Newton'un Gökbilimsel Verileri ve Çıkarımları

Newton *Principia*'nın III. Kitap'ında, Güneş Sistemi'ndeki cisimlerle ilgili olayları ve verileri ya da gökbilimsel gerçekleri sıralayarak başlar.

Jüpiter'in gezegenleri (ç.n. uyduları kastediyor), Jüpiter'in merkezine çizilen yarıçaplarla, tanımlama zamanlarına orantılı alanlar tanımlarlar ve periyodik süreleri, sabit yıldızlar hareketsizken, merkezden olan uzaklıklarının 3/2'inci kuvveti gibidir.

. . .

Satürn'ün gezegenleri (ç.n. yine uyduları kastediyor), Satürn'ün merkezine çizilen yarıçaplarla, tanımlama zamanlarına orantılı alanlar tanımlarlar ve periyodik süreleri, sabit yıldızlar hareketsizken, merkezden olan uzaklıklarının 3/2'inci kuvveti gibidir.

. . .

Başlıca beş gezegen, Merkür, Venüs, Mars, Jüpiter ve Satürn, ayrı ayrı yörüngeleriyle Güneş'i kuşatırlar.

. . .

Sabit yıldızlar hareketsizken, başlıca beş gezegenin periyodik süreleri ve (ya Güneş'in Dünya etrafındaki ya da) Dünya'nın Güneş etrafındaki süresi, Güneş'ten ortalama uzaklıklarının 3/2'inci kuvveti gibidir.

. . .

Sonra başlıca gezegenler, Dünya'ya çizilen yarıçaplarla, zamanlarına hiçbir şekilde orantılı alanlar tanımlamazlar; ama Güneş'e çizilen yarıçaplarla tanımladıkları alanlar, tanımlama zamanlarına orantılıdır.

. . .

Ay, Dünya'nın merkezine çizilen bir yarıçapla, tanımlama zamanına orantılı bir alan tanımlar.[2]

Newton, bu altı ifadeden ve onlara *Principia*'da eşlik eden gökbilimsel verilerden, Jüpiter'in aylarının, Satürn'ün uydularının, gezegenlerin kendilerinin ve Dünya'nın Ay'ının her birinin Kepler'in ikinci yasasına (eşit zaman aralıklarında eşit alanlar) ve üçüncü yasasına (ortalama yarıçapla periyodu ilişkilendiren) uydukları ve gezegenlerin merkez olarak (Dünya'nın etrafında değil) Güneş'in etrafında döndükleri sonucuna varır.

Daha sonra, bu olayları çıkarmak için gerekli kuvvetlerin doğasıyla ilgili bir dizi önerme geliştirir.

> Jüpiter'in gezegenlerini (ç.n. uyduları kastediyor) sürekli olarak düzgün doğrusal hareketten alıkoyan ve uygun yörüngelerde tutan kuvvetler Jüpiter'in merkezine doğrudurlar ve bu gezegenlerin yerlerinin merkezden olan uzaklıklarının karesiyle terstirler (ç.n. 'ters orantılıdırlar' demek istiyor).
>
> . . .
>
> Başlıca gezegenleri sürekli olarak düzgün doğrusal hareketten alıkoyan ve uygun yörüngelerde tutan kuvvetler Güneş'in merkezine doğrudurlar ve bu gezegenlerin yerlerinin Güneş'in merkezinden olan uzaklıklarının karesiyle terstirler (ç.n. yine 'ters orantılıdırlar' demek istiyor).
>
> . . .
>
> Ay'ı yörüngesinde tutan kuvvet Dünya'ya doğrudur ve yerinin Dünya'nın merkezinden olan uzaklığının karesiyle terstir (ç.n. 'ters orantılıdır' demek istiyor).[3]

Bir başka deyişle Newton, aşağıdaki kısımlarda ve bir sonraki konuda vereceğimiz tipte akıl yürütmelerle, Kepler'in ikinci ve üçüncü yasalarının birlikte merkezi, ters-kare bir kuvveti gerektirdiği sonucunu çıkardı.

Newton *Principia*'sında sorunları böyle sundu. Bununla birlikte Newton, gezegenleri yörüngelerinde tutan kuvvetle ilgili araştırmalarının ilk zamanlarında, bu kuvvetin ters-kare özelliğini, Kepler'in üçüncü yasasına dayandırarak ileri sürdü. 1669'dan önce yazılmış bir elyazmasında şöyle dedi:

> Son olarak, başlıca gezegenlerde Güneş'ten uzaklıklarının küpü, belirli bir süredeki dönüş sayılarının karesinin tersi olduğundan; Güneş'ten uzaklaşma gayretleri, Güneş'ten uzaklıklarının karesinin tersi olacaktır.[4]

Newton'un kariyerinin başlarındaki bu tarihte, gezegenlerin Güneş'ten uzaklaşmak için 'gayretleri' açısından, yani *merkezcil* (merkeze doğru) kuvvet yerine *merkezkaç* (merkezden uzağa doğru) kuvvet cinsinden konuştuğuna dikkat ediniz.

8.2 Bir Ters-Kare Yasası

Newton, *Principia*'sının I. Kitap'ında, Kepler'in eşit zaman aralıklarında gezegenlerce eşit alanların tarandığını belirten ikinci yasası

için, gezegenle Güneş arasında merkezi bir kuvvet olması gerektiğini kanıtladı. (Bir sonraki konuda Newton'un bu sonuç için kendi geometrik tezini inceleyeceğiz.) Yani, gezegeni doğal düz doğrusal hareketinden saptırmak ve yörüngesinde tutmak için gereken kuvvet, her anda gezegenden Güneş'te yer alan kuvvet merkezine doğru yönelmelidir. I. Kitap'ta, Kepler'in odaklardan birinde Güneş'in olduğu eliptik yörüngelerle ilgili birinci yasasının da, yalnızca bu merkezi kuvvetin gezegenden Güneş'e olan uzaklığın karesinin tersiyle değiştiğinde doğru olabileceğini kanıtladı. (Bunu kanıtlayışını da bir sonraki konuda ele alacağız.)

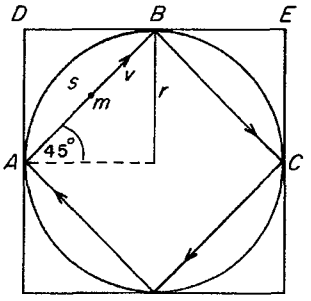
Newton, (*R* yarıçapında bir dairesel yörüngede *v* sabit hızıyla hareket eden) bir gezegene etki eden merkezcil ivmenin $a_c = v^2 / R$ diye yazılabileceğini belirten kinematik sonucu daha önceden biliyordu. Aslında bu sonuç ilk kez Hollandalı matematikçi, gökbilimci ve fizikçi Huygens tarafından çıkarılmıştı. 1673'te *Horologium Oscillatorium*'undaki (*Sarkaç Saatleri Üzerine*) bir apendikste kanıtsız olarak ifade edilmişti.

> İki özdeş cisim, aynı hızla, birbirine eşit olmayan çemberler üzerinde hareket ettiklerinde, [merkezcil] kuvvetleri çaplarıyla ters orantılıdır.
>
> . . .
>
> İki özdeş cisim, eşit olmayan fakat sabit hızlarla, birbirine eşit çemberler üzerinde hareket ettiklerinde, ... daha hızlı olanın [merkezcil] kuvvetinin daha yavaş olanınkine oranı hızlarının karesinin oranı kadardır.[5]

Kanıtlar, Huygens'in ölümünden sonra, 1703'te yayınlanan, *De Vi Centrifuga*'da (*Merkezkaç Kuvveti Üzerine*) verilmişti.[6] Dairesel hareketle ilgili çalışmalarını 1659 civarlarında tamamladığı halde[8], bir öncüllük savında bulunabilmek için, 1669 yılı kadar erken bir tarihte Londra'daki Kraliyet Derneği'nin sekreteri olan Henry Oldenburg'a (1618–1677) bu sonuçları bildiren[7] bir sözcük evirmece (ç.n. 'kilim' → 'iklim' örneğindeki gibi bir sözcükteki harflerin yerlerini değiştirme) yollamıştı.

Newton merkezcil kuvvet için bu ilişkiyi bağımsız olarak keşfetti.[9] *Principia*'da şunu buluruz:

Cisimlerin, eşit hareketlerle farklı çemberler tanımlayan merkezcil kuvvetleri, aynı çemberlerin merkezlerine doğru yönelirler ve birbirlerine oranı, eşit zaman aralıklarında tanımlanan yayların karelerinin sırasıyla çemberlerin yarıçaplarına bölünmesi kadardır.[10]



Şekil 8.1 Newton'un merkezcil ivme için akıl yürütmesi

Burada Newton'un *Principia*'sındaki (1687) ifadesini alıntıladıysak da, bu soruyu 1665'e kadar erken bir tarihte çalışmış olduğunu söylemeliyiz.[11] Newton (1665 civarlarındaki) daha erken bir girişimde soruyu, Şekil 8.1'de gösterildiği gibi, aralarına bir çember çizilmiş iki kareyi ele alarak bir çarpışma problemine indirgemişti.[12] Bir m kütlesinin AB doğru parçası üzerinde, düzgün bir v hızıyla ilerlediğini varsayın. Bu kütle, silindirik yüzeye B noktasında çarptığında, çarpışma sonrasında tıpkı DBE sert yatay duvarıyla çarpışmışkenki gibi 'yansıyacaktır'. Çarpışma sonrasında, hızın bu düz yüzeye dik bileşeni ($v_\perp = v/\sqrt{2}$), çarpma sonrasında hızdaki toplam değişim, bu değerin iki katı olacak biçimde yalnızca ters çevrilir. AB doğru parçasını s ile gösterirsek, çarpışmalar arasındaki süre $\Delta t = s/v$'dir. Yine Şekil 8.1'deki geometriden, $r = s/\sqrt{2}$ 'dir; böylece $\Delta t = \sqrt{2}\ r/v$ olur. Bu hızdaki değişim hızının (merkezcil ivmenin) $a_c = \Delta v/\Delta t = v^2/r$ olmasını, yani tam da iddia edilen sonucu gerektirir. Newton daha 1665'te yukarıda verilen akıl yürütmenin bir çember içine çizilmiş N-kenarlı bir çokgene genellenebileceğini fark etmişti. Newton daha sonra, *Principia*'daki bir *scholium*da, bu akıl yürütmeyi aşağıdaki gibi ifade etti:

> Herhangi bir çemberin içine, herhangi sayıda kenarı olan bir çokgenin çizildiğini varsayın. Ve belirli bir hızla hareket ettirilen bir cisim, çokgenin kenarları boyunca farklı açısal noktalarda çemberden yansıtılırsa, her yansımada çembere çarptığı kuvvet hızı gibi olacaktır. Dolayısıyla, belirli bir süredeki, kuvvetlerin toplamı bu hızla yansımaların sayısının çarpımı kadar olacaktır; yani (çokgenin türü verilirse) o belirli sürede izlenen uzunluk kadar ve aynı uzunluğun çemberin yarıçapına olan oranında arttırılmış ya da azaltılmış olacaktır; yani, o uzunluğun karesinin yarıçapla bölünmesi kadar olacaktır ve dolayısıyla çokgen, kenarlarının *sonsuz sayıda* azaltılmasıyla, belirli bir sürede izlenen yayın karesinin yarıçapla bölünmesi kadar, çemberle çakışacaktır. Bu merkezkaç kuvvetidir...[13]

$N \to \infty$ limitinde bu çokgen r yarıçapında bir çembere yaklaşır.

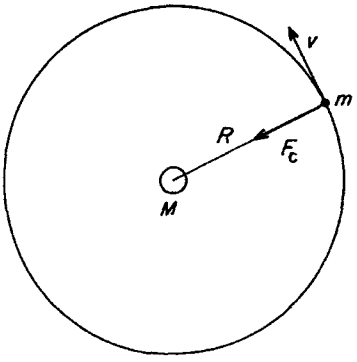
Eldeki bu sonuçla, bugün Newton'un bir gezegenle Güneş arasındaki çekim yasası için tezini, onun ikinci yasası $\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$ ((7.1) Denklemi) ile bir gezegenin Güneş etrafındaki hareketi için Kepler'in üçüncü yasasını $R^3/\tau^2 = sabit$ ((5.2) Denklemi) birleştirerek özetleyebiliriz. (Burada bunu yalnızca dairesel bir yörünge için yapıyoruz, fakat 9. Konu'da Newton'un eliptik yörüngeler için daha genel tezinin ana hatlarını vereceğiz. Bununla birlikte, her iki durumda da tezlerin mantığı aynıdır.) Newton'un ikinci yasasıyla az önce incelediğimiz merkezcil ivme için sonuç, birlikte gezegeni Güneş etrafında dairesel bir yörüngede tutmak için gereken F_c merkezcil kuvvetinin $F_c = mv^2/r$ olmasını gerektirir. Şekil 8.2'nin yardımıyla, gezegenin R yarıçapındaki dairesel yörüngesindeki v hızını $v = 2\pi R/\tau$ biçiminde belirtebiliriz. Bu iki ilişkiyi birleştirirsek,

$$F_c = \frac{mv^2}{R} = \frac{4\pi^2 m}{R^2}\left(\frac{R^3}{\tau^2}\right) \tag{8.1}$$

elde ederiz. Bununla birlikte, Kepler'in üçüncü yasasına göre, bu eşitliğin son terimdeki parantez içerisinde verilen nicelik, Güneş etrafında bir yörüngede bulunan her gezegen için bir sabittir (aynı sabit), böylece

$$F_c = \frac{4\pi^2 m}{R^2}\ (sabit) \tag{8.2}$$

olur. Yukarıdaki incelemenin temel noktası, Newton'un ikinci



Şekil 8.2 Kepler'in üçüncü yasasından bir ters-kare kuvveti

yasasıyla Kepler'in üçüncü yasasının birlikte bir gezegene etki eden kuvvetin Güneş merkezli bir ters-kare kuvveti olmasını gerektirmesidir.

8.3 Ay'ın Merkezcil İvmesi

Newton daha sonra, *Dünya'nın Düzeni* adındaki III. Kitap'ta, bu ters-kare merkezi kuvvetin kaynağının ya da doğasının ne olabileceğini sordu. Bu, aşağıdaki önerme ile yanıtlanır:

> Ay Dünya'ya doğru hareket eder ve yerçekimi kuvvetiyle sürekli olarak düzgün doğrusal hareketten alıkonulur ve yörüngesinde tutulur.[14]

Ay'ın Dünya etrafındaki yörüngesinin yarıçapı R_m ve Ay'ın yörüngesinde bir tam dönüş için geçen süre (periyodu) τ olsun. O halde, az önce gördüğümüz gibi, Ay'ın Dünya etrafındaki hızını $v = 2\pi R_m/\tau$ olarak buluruz. Newton, Ay'ın yörüngesinin yarıçapının, Dünya'nın kendi yarıçapının yaklaşık olarak 60 katı olduğunu biliyordu. $r_e = 4000$ mil [$6{,}44 \times 10^3$ km] ve $\tau = 27{,}3$ gün değerleriyle, Ay'ın merkezcil ivmesi için $a_c = 9 \times 10^{-3}$ ayak/s^2 [$2{,}74 \times 10^{-3}$ m/s^2] değerini elde etti. Yani, Ay'ın bulunduğu yerde g'nin değeri, Dünya yüzeyindeki değeri olan $g_{\text{dünyada}} = 32$ ayak/s^2 [9,80 m/s^2]'ye oranla, $g_{\text{ayda}} = 9 \times 10^{-3}$ ayak/s^2 [$2{,}74 \times 10^{-3}$ m/s^2]'ye düşer.

Fakat Newton daha önceden (*Principia*'nın I. Kitap'ındaki yukarıda sözü edilen önermeleri hatırlayınız) Ay'ı yörüngesinde tutan kuvvetin, merkezi Dünya'da olan bir $1/r^2$ kuvveti olduğunu biliyordu.

$$\frac{g_{\text{dünyada}}}{g_{\text{ayda}}} = \frac{32}{9 \times 10^{-3}} = 3{,}56 \times 10^3 \cong \left(\frac{R_m}{r_e}\right)^2 = (60)^2 = 3600 \qquad (8.3)$$

olduğundan, Newton, Ay'ı yörüngesinde tutanın tek başına Dünya'nın yerçekimi olduğu sonucuna vardı.

> Ve dolayısıyla Ay'ı yörüngesinde tutan kuvvet, tam Dünya'nın yüzeyinde, burada ağır cisimlerde gözlemlediğimiz yerçekimi kuvvetine eşit olur. Ve dolayısıyla... Ay'ı yörüngesinde tutan kuvvet, sıradan bir şekilde yerçekimi diye andığımız kuvvetin ta kendisidir; çünkü, yerçekimi ondan ayrı bir kuvvet olmuş olsaydı, her iki kuvvetin birleşik itkisiyle Dünya'ya düşen cisimler iki katı hızla düşerlerdi ve bir saniyelik bir süre içerisinde... [32] ayaklık bir uzunluk izlemiş olurlardı; tamamen deneyimlerimize aykırı.[15]

Newton bu merkezcil kuvvet hesabını, (bazen ileri sürüldüğü gibi) yerçekimi kuvvetinin $1/r^2$ olarak değiştiğini öğrenmek için değil, tersine, gereken $1/r^2$ kuvvetinin yalnızca yerçekimi yüzünden olduğu sonucuna varmak için kullandı. Ya da, bir başka ifadeyle, bu akıl yürütme, Dünya'mn yerçekiminin Ay'ın uygun 'düşme' hızını sağlamak için gereken tek etmen olduğunu gösterir. Örneğin kartezyen girdaplara (ç.n. bir Güneş'in ya da gezegenin ekseni etrafında çok hızlı bir şekilde döndüğü, çok narin ve hafif maddelerden oluştuğu varsayılan parçacıklar yığını. Descartes, evrenin oluşumunu ve onu oluşturan cisimlerin hareketini bu 'girdaplar' kuramıyla açıklamaya çalışmıştı.) hiç gerek yoktur. Bu, tabii ki, Dünya'nın da tıpkı Güneş gibi bir kütleçekim kuvveti uyguladığını varsayar.

8.4 Nokta Kütleler İçin Kütleçekim Yasası

Newton (8.2) denkleminin sonucunu aşağıdaki gibi ifade ettiği *evrensel kütleçekim yasası*na genelledi.

> Bütün cisimlere ait olan, içerdikleri farklı madde miktarıyla orantılı olarak, bir kütleçekim gücü vardır.
>
> . . .
>
> Herhangi bir cismin farklı eşit parçacıklarına doğru olan kütleçekim kuvveti, yerlerin parçacıklardan olan uzaklığının karesinin tersidir....[16]

Modern gösterimle bunu

$$F = -\frac{Gm_1m_2}{r^2} \tag{8.4}$$

biçiminde gösteririz. Bu, kuvvetin etki çizgisi iki cismi birbirine bağlayan doğru boyunca olduğundan merkezi bir kuvvettir. Burada evrensel kütleçekim sabiti G bir orantı katsayısıdır. Kütleçekim son derece zayıf bir kuvvettir, dolayısıyla G'yi deneysel olarak ölçmek çok zordur; Henry Cavendish'in (1731-1810) bunu yapabilmesi yaklaşık 100 yıl sonra olacaktı. Kütle, uzunluk ve kuvvet birimleri, genellikle, daha önceden başka yollarla tanımlandıklarından, bu sabiti $G = 1$ gibi keyfi bir şekilde alamayız. G'nin sayısal değeri $6{,}67 \times 10^{-11}$ $m^3/kg\ s^2$'dir.

Newton, kütleçekimi yöneten yasayı ifade etti, fakat onu açıklamaya girişmedi. *Principia*'nın sonundaki Genel *Scholium*, Newton'un bu noktadaki ünlü yadsımasını içerir.

> Şimdiye kadar, göklerdeki ve denizlerimizdeki olayları yerçekiminin gücüyle anlattık, fakat bu gücün nedenini daha belirlemedik. Şurası kesin ki bu, kuvvetinde en ufak bir azalmaya uğramadan, Güneş'in ve gezegenlerin tam merkezlerine dalan; (mekanik nedenlerin yapageldikleri gibi) üzerine etki ettiği parçacıkların yüzeylerinin niceliğine göre değil, içerdikleri katı madde niceliğine göre işleyen ve erdemini bütün yönlerde uçsuz bucaksız uzaklıklara, her zaman uzaklıkların karesinin tersiyle azalarak, yayan bir nedenden ileri gelmek zorundadır.... Fakat şimdiye kadar yerçekiminin bu özelliklerinin nedenini olaylardan keşfetmeyi başaramadım ve ben hipotezler uydurmam...[17]

(8.4) denklemi, yerçekimi kuvvetini iki cismin kütleleri ve aralarındaki uzaklık cinsinden verdiğinden, sık sık ondan bir uzaklıkta etki

diye söz edilir. Yasa, bir cisim tarafından oluşturulan kuvvetin diğer cisme ulaşması için ne kadar süre geçeceği hakkında hiçbir şey söylemez. Kuvvet, ya da etki, iki cisim arasındaki uzaklık boyunca anında yayılıyormuş ve bütün maddelerin doğasında bulunan bir özellikmiş gibi görünür. Bununla birlikte Newton, bu konuda yazdığı bir mektupta açıkladığı gibi, yasasının bu yorumlarını kabul etmedi.

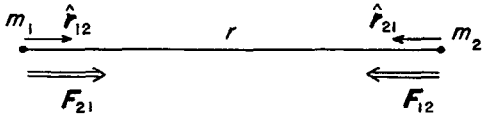
> Cansız kaba maddenin, maddesel olmayan başka bir şeyin meditasyonu olmaksızın, diğer maddeler üzerinde etkide bulunabilmesi ve karşılıklı temas olmadan onlara etki etmesi akla yatkındır... Ve bu, aklın yarattığı yerçekimini neden bana atfetmenizi arzu etmediğimin bir nedenidir. ...Bu bana o kadar büyük bir saçmalık olarak geliyor ki, felsefi konularda yeterli düşünme yeteneği olan hiçbir insanın buna kanacağına inanmıyorum.[18]

(8.4) denklemi, r uzaklığıyla ayrılmış, m_1 ve m_2 kütlesindeki iki nokta parçacığın birbirlerini bu kütlelerin çarpımıyla doğru ve parçacıklar arasındaki uzaklığın karesiyle ters orantılı bir kuvvetle çektiklerini belirtir. (8.4) denklemindeki eksi işaretinin, bir çekim kuvvetini gösterdiğini kabul ettik. Yani, m_1 m_2 üzerine $\boldsymbol{F}_{12}$ çekici kuvvetiyle ve m_2 de m_1 üzerine eşit ama ters yönde $\boldsymbol{F}_{21}$ kuvvetiyle (Newton'un etki ve tepki konulu üçüncü yasasıyla uyumlu olarak) etki eder. Kütleçekim kuvvetleri her zaman çekicidir. Bu noktayı Newton'un kütleçekim yasasını

$$\boldsymbol{F}_{12} = -\frac{Gm_1m_2}{r_{12}^2}\,\hat{r}_{12} \tag{8.5}$$

biçimindeki vektör formunda ifade ederek vurgulayabiliriz, bu denklemde r_{12}, m_1 ve m_2 arasındaki düz doğru uzaklığının büyüklüğüdür ve $\hat{r}_{12}$ de m_1'den m_2 yönünü işaret eden (boyutsuz) bir birim vektördür. Burada $\boldsymbol{F}_{12}$, Şekil 8.3'te belirtildiği gibi, m_1 tarafından m_2 üzerine etki ettirilen kuvvettir.

Newton, *Principia*'nın III. Kitap'ındaki evrensel kütleçekim yasasını ifade etmesiyle, yirmi yıldan fazla bir süredir üzerinde düşündüğü bir dizi soruya en sonunda tam bir yanıt sunmuştu. Burada bu



Şekil 8.3 Karşılıklı çekici kütleçekim kuvvetleri

soruları ve yanıtlarını bir araya getirelim. 1660'ların ortaları kadar erken bir tarihte, Kepler'in üçüncü yasasını bir gezegenin dairesel yörüngesine uygulayarak, gezegeni yörüngesinde tutan merkezi kuvvetin bir ters-kare kuvvet olduğu sonucuna ulaştığını daha önce görmüştük. O sıralarda kendi kendine Ay'ın düz bir doğru üzerinde kaçıp gitmektense (neredeyse), dairesel yörüngesinde kalması için Dünya'ya doğru olan 'düşüşünün' ya da ivmesinin hızının ne olması gerektiğini de sordu. Newton merkezcil ivmenin ifadesi için bu alternatif çıkarımla değişen bir ivmeyi, her biri yeterince kısa bir zaman aralığında uygulanan, sabit ivmelerin limiti olarak ele alabilmişti. Bu, onu Ay'ı yörüngesinde tutan çekici kuvvetin kökeni hakkında Kısım 8.3'te incelediğimiz sonuca ulaştırdı. 7. Konu'da gördüğümüz gibi, 1679'da Newton'la Robert Hooke arasında bir cismin çekici bir ters-kare kuvvetin etkisi altındayken izleyeceği yörüngeyle ilgili bir konuşma geçti. Newton kendi kendine yörüngenin bir elips olduğunu kanıtladı, ama bunu Hooke'a bildirmedi.[19] 1684'te (muhtemelen ağustos ayında) Edmund Halley, Newton'u Cambridge'te ziyaret etti. O, Newton'u, Wren'in gezegenlerin Güneş etrafındaki yörüngelerinin şeklini çıkarmak konusundaki çözümü bilinmeyen (çözüm için vaat edilmiş küçük bir ödülle birlikte) uğraştırıcı sorusundan haberdar etti. Buna karşılık Newton, 1684 güzünde *De Motu Corporum*'u (*Cisimlerin Hareketi Üzerine*) yazmaya başladı. Bu çalışmanın tamamlanması, düzeltmeleriyle birlikte, 1686'ya dek sürdü. Bu, geometriyle ve hareketin dinamiğiyle ilgiliydi ve aslında *Principia*'nın I. Kitap'ı olacaktı.[20]

8.5 Büyük Cisimler İçin Kütleçekim

(8.4) denkleminin yalnızca nokta parçacıklar için doğru olduğunu vurgulamıştık. Newton yıllar boyunca bu yasanın neden Dünya ve Ay gibi gerçekten büyük küreler için de geçerli olduğu konusunda kaygılandı.

> Bütün bir gezegene doğru yerçekimi kuvvetinin, onun bütün parçalarına doğru olan yerçekimi kuvvetlerinden doğduğunu ve bunların birleşiminden oluştuğunu ve bu kuvvetlerin her bir parçaya doğru parçadan uzaklıkların kareleriyle ters orantılı olduklarını bulduktan sonra, uzaklığın karesinin tersiyle olan orantının o kadar çok sayıda kısmi kuvvetlerin birleşiminden oluşan toplam kuvvette tam olarak tutup tutmadığı, ya da tutmuyorsa neredeyse öyle olduğu, hakkında hâlâ kuşku içindeydim; çünkü daha büyük uzaklıklarda yeterince kesin olarak oluşan orantı, parçacıkların uzaklıklarının eşit olmadığı ve durumlarının birbirine benzemediği, gezegenin yüzeyine yakın yerlerde gerçekte olandan uzak olabilirdi. Fakat I. Kitap'taki 75. ve 76. önermelerin ve bunların sonuçlarının yardımıyla, önermenin, şimdi önümüzde duran haliyle, doğruluğuna en sonunda ikna olmuştum.[21]

Bununla birlikte Newton'un 1685'e kadar (*Principia*'yı yazarken) bir küre tarafından oluşturulan kütleçekim kuvvetini hesaplamayı denediğine ilişkin herhangi bir kanıt yoktur.[22] Bu, kalkülüsünü geliştirmesinden çok daha sonraydı (~1665-1670). Newton'un Ay'ın yörüngesiyle ilgili ilk kez 1666 yılında yaptığı hesaplarla, neredeyse yirmi yıl sonra, eliptik yörüngeleri bir ters-kare kuvvetinin oluşturduğunu kanıtlaması arasındaki uzun gecikmenin ayrıntılı bir açıklamasını vermek karmaşık bir öyküdür.[23] Bilinen Dünya-Ay uzaklığının değerindeki belirsizlikler ve bir küre tarafından oluşturulan çekici kuvvet problemi, gerekli yörünge hesaplarını yapmak için gereken açık bir dinamik ana yapının olmamasına kıyasla, herhalde daha az ciddi zorluklardı. Newton, dinamiğini tümüyle ve tam olarak 1680'lere kadar açık ve kesin bir şekilde belirtememiş görünüyor.[24] Evrensel kütleçekim kavramının son haline getirilmesi bile oldukça geçti.

Bugün (8.4) denkleminin iki homojen küre arasında, küreler üst üste binmediği sürece, hâlâ geçerli olduğunu kanıtlamak kalkülüste (ya da hatta üç boyutlu cisimlerin geometrisinde) oldukça yalın ve açık bir alıştırmadır. Newton, küresel kütleler için bu önemli sonucu bir önermeler dizisiyle geliştirdi.

> Eğer küresel bir yüzeyin her noktasına, bu noktalardan olan uzaklıkların karesinin tersiyle azalan eşit merkezcil kuvvetler etki ederse, derim ki, bu

> yüzey içine yerleştirilen küçük bir parçacık, bu kuvvetler tarafından hiçbir şekilde çekilmeyecektir.[25]

Newton burada 'merkezcil kuvvet' ile merkezi kuvveti kastediyor. Bu teorem, homojen bir içi boş küresel kabuk içindeki bir nokta kütlenin net hiçbir kütleçekim kuvveti hissetmeyeceğini belirtir. Böylesi bir küresel kabuğun içindeki herhangi bir noktada, kabuktan oluşturulan bütün kütleçekim kuvvetleri birbirlerini tamamen dengeler.[26]

Sonra, homojen bir küresel kabuğun dışına bir nokta kütle yerleştirilirse, bu nokta kütle, kürenin merkezine doğru, tıpkı kabuğun bütün kütlesi sanki kürenin merkezindeki noktada toplanmış gibi çekilir.[27]

> Yukarıda varsayılan şeylerin aynısı olduğunda, derim ki, küresel yüzeyin dışına yerleştirilen küçük bir parçacık, merkezden uzaklığının karesinin tersiyle orantılı bir kuvvet tarafından kürenin merkezine doğru çekilir.[28]

İnce bir kabuk kütlesi için bu sonucu elde ettikten sonra, sabit yoğunlukta üç boyutlu bir küreyi bir dizi eş merkezli kabuklardan oluşmuş diye düşünebiliriz ve bu nedenle düzgün bir küresel kütlenin dışına doğru yerleştirilmiş bir nokta kütlenin, bu küre tarafından tıpkı bütün kütlesi sanki kürenin merkezindeki noktada toplanmış gibi çekileceği sonucuna varabiliriz. Newton bu sonucu, birbirinden ayrı iki küresel kütle için, aşağıdaki gibi ifade etti:

> Birbirini diğerine doğru kütleçekimle çeken iki küre için, eğer merkezlerden eşit uzaklıktaki ve merkezlerin etrafından tüm yönlere doğru yerlerdeki madde benzerse, her iki kürenin de diğerine göre ağırlığı, merkezleri arasındaki uzaklığın karesinin tersiyle orantılı olacaktır.[29]

Son olarak, Newton'un bu teoremlerini yararlı bir gözlemde bulunmak için birleştirebiliriz. Newton bize şöyle der:

> Eğer herhangi bir kürenin ayrı ayrı noktalarına noktalardan olan uzaklıkların karesinin tersiyle azalan eşit merkezcil kuvvetler etki ederse, derim ki, küre içine yerleştirilen küçük bir parçacık, merkeze olan uzaklığıyla orantılı bir kuvvet tarafından çekilir.[30]

Bu, "eğer elimizde homojen (sabit yoğunlukta olan) bir küre varsa ve bu kürenin içine bir parçacık yerleştirirsek, parçacık, kürenin merkezine doğru bir çekim kuvveti hissedecektir ve bu kuvvet, kürenin merkezinden olan uzaklıkla doğru orantılı olarak değişecektir" anlamına gelir. Bunun nedeni, küresel kütlenin, parçacığın konumundan dışa doğru kalan kabuktaki kısmının (yukarıda alıntılanan ilk önermede belirtildiği gibi) parçacık üzerine hiçbir net kuvvet uygulamaması, bu arada parçacığın konumundan içeriye doğru kalan küresel hacimdeki kütlenin de (kürenin hacmi $(4/3)\pi r^3$ olduğundan) uzaklığın küpüyle orantılı olarak değişmesidir. Fakat içerideki bu küre tarafından parçacık üzerine etki eden kuvvet, uzaklığın karesinin tersiyle orantılı olarak değişir. Bu gerçekler birlikte, Newton'un yukarıda anlatılan savını oluşturur. Tüm bu basit sonuçlar (örneğin küpler ya da rasgele şekillerdeki başka cisimler için değil) yalnızca küreler için doğrudur.

8.6 Eylemsizlik ve Kütleçekim Kütleleri

7. Konu'da kullanılan kütle kavramı, aslında bir cisme verilen bir kuvvet uygulandığında ($F = m_i a$) ivmelenmeye karşı gösterdiği direncin bir ölçüsü olan m_i *eylemsizlik kütlesi*ydi. Bir cismin m_g *kütleçekim kütlesi* ise cisimle bir başka cisim arasındaki kütleçekimsel çekimin büyüklüğünü ($F = GMm_g/r^2$ ya da $w = m_g g$, burada w cismin *ağırlığı*dır) belirler. Klasik mekanikte, verilen bir cismin bu iki kütlesinin birbirleriyle ilişkili olması için, daha önceden herhangi bir neden yoktur. Bununla birlikte, Newton'un zamanından bugüne kadar yapılan deneysel ölçümler $m_g = m_i$ olduğunu göstermiştir. Newton 'eylemsizlik kütlesi' ve 'kütleçekim kütlesi' terimlerini kullanmaz, ama aşağıdakilerde yalnızca bu kavramlarla ilgilenir. Newton *Principia*'da (eylemsizlik) kütleyle ağırlık arasındaki tam orantılılık halini inceler.

> [Kütle] her cismin ağırlığıyla bilinir, çünkü, bundan sonra gösterileceği gibi, sarkaçlar üzerine son derece dikkatli yapılan, deneylerde bulduğum gibi, ağırlığa orantılıdır.[31]

. . .

> Merkezleri... asılma merkezinden eşit uzaklıkta olan sarkaç benzeri cisimlerdeki madde miktarları, ağırlıklarının oranı ve boşluktaki salınım sürelerinin karesinin oranının birleştirilmiş oranındadır.[32]

Bir orantı olarak bu sonuncu önerme yalnızca $m_i \propto \tau^2 w$'dır. Bir sarkacın periyodu bu durumda şöyle yazılabilir:[33]

$$\tau = 2\pi \sqrt{\frac{m_i l}{w}} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}\frac{m_i}{m_g}} \qquad (8.6)$$

Eğer m_i ve m_g farklı olsalardı, τ bir sarkaçtan değişik bir malzemeyle yapılmış olan bir diğerine, her iki sarkaç da aynı l uzunluğunda olsa bile, değişecekti. Fakat, yukarıda Newton'un da gözlemlediği gibi, durum böyle değildir.

Dahası, eğer $m_i \neq m_g$ ise, $w = m_g g = m_i a$ olması $a = (m_g / m_i)g$ olmasını gerektirirdi ve Dünya yüzeyinde tüm cisimler eşit ivmeye sahip olamazdı. Bu, Newton'un da çok iyi bildiği gibi, Galilei'nin büyük keşfine aykırıdır.

> Şimdi çok uzun bir süreden beri, her türden ağır cisimlerin ... Dünya'ya *eşit yüksekliklerden* eşit sürelerde düştükleri ve sürelerin eşitliğini, sarkaçlar yardımıyla, büyük bir doğrulukla ayırt edebileceğimiz başkaları tarafından gözlemlendi. [Birçok maddelerle] deneyler yaptım... Bu deneylerle, aynı ağırlıktaki cisimlerde, eğer öyle bir şey olsaydı, bütünün binde biri parçasından daha az bir madde farkını açıkça keşfedebilirdim.[34]

Newton daha sonra aynı bölümde, m_i ve m_g eşit olmasalardı Kepler'in gezegenlerin hareketiyle ilgili üçüncü yasasının da doğru olamayacağına işaret eder. (8.1) ve (8.4) denklemlerinden Kepler'in yasasının

$$\frac{R^3}{\tau^2} = sabit \frac{m_g}{m_i} \qquad (8.7)$$

olacağını görürüz. Eylemsizlik ve kütleçekim kütlelerinin tam olarak eşitliğinin nedeni, 18. Konu'da ele alacağımız gibi, Einstein'ın genel

görelilik kuramı temelinde anlaşılabilir. Bununla birlikte, klasik kütleçekim kuramında, bu eşitlik yalnızca temel herhangi bir açıklaması olmayan bir rastlantıdır (ya da doğanın nedensiz bir gerçeğidir).

Yararlı Kaynaklar

I. Bernard Cohen'in 'Isaac Newton' adlı uzun biyografik taslağı, Newton'un yaşamının ve çalışmalarının anlaşılabilir bir raporunu verir. Leon Rosenfeld'in 'Newton ve Kütleçekim Yasası' isimli eseri, bu büyük buluşun daha yapısal bir incelemesiyken, Cohen'in 'Newton'un Kütleçekimi Keşfi' adlı çalışması, genel okuyucu kitlesi için yazılmış bir makaledir. Tabii ki, Richard Westfall'ın *Never At Rest*'i (ç.n. 7. Konu'nun sonundaki Yararlı Kaynaklar kısmına bakınız.) Newton'un yaşamının ve çalışmalarının neredeyse bütün yönlerini içerir. James Cushing'in (ç.n. yazarın kendisi) 'Newton'un *Principia*'sında Kepler'in Yasaları ve Evrensel Kütleçekim' adlı çalışması, küresel bir kütle tarafından oluşturulan kütleçekimsel çekim için Newton'un kendine ait akıl yürütmesini modern geometri gösterimiyle ele alır.

9

Bazı Eski Soruları Yeniden Ziyaret

Daha önceki iki konuda, büyük oranda modern matematiksel gösterim cinsinden, Newton'un üç hareket yasasını ve evrensel kütleçekim yasasını çıkarışını ele aldık. Burada, okuyucunun, Newton'un gerçekte *Principia*'da kullandığı matematiksel savların çeşidinin değerini biraz anlamasını sağlamaya girişiyoruz. Sonra hareket ve kütleçekim yasalarının, Kepler'in üç yasasını bir baştan bir başa yayılan bu kuramın gerekli mantıksal sonuçları olduklarını çıkarmakta nasıl kullanılabileceklerini göstereceğiz. (Buradaki fikir ve bilgilerin bazıları daha önceki konulardakilere göre teknik olarak biraz daha karmaşıktır. Beğenileri böyle ayrıntılarla uyuşmayan okuyucular kolaylıkla 10. Konu'ya geçebilirler.) Newton, daha önce son konuda gördüğümüz gibi, Kepler'in yasalarını kabul etti ve bunlardan herhangi iki cisim arasındaki kütleçekimsel çekimin ters-kare özelliğine ulaşmayı başardı. Daha sonra akıl yürütme şeklini geriye doğru işletti ve kütleçekim yasasının geçerliliğini varsayarak, Kepler'in gezegenlerin hareketiyle ilgili üç yasasını çıkardı. Örneğin *Principia*'da şunu buluruz:

> Gezegenler, ortak odağı Güneş'in merkezinde olan elipsler üzerinde hareket ederler ve bu merkeze çekilen yarıçaplarla, tarama süreleriyle orantılı alanlar tararlar.[1]

Bu, Kepler'in birinci ve ikinci yasalarını bir arada içerir. Tabii ki, kütleçekim yasasının, her şeyden öte, kendisinin çıkarılmasında

kullanılan Kepler'in yasalarının yalnızca yeniden elde edilmesinden daha fazlasını yapabilmeyi umuyoruz.

Klasik mekaniğin ve kütleçekim kuramının genel yapısını (fizikteki birçok kuram için olduğu gibi) kabul etmemizdeki önemli bir etken, olayları açıklayabilmesindeki - hem özel hallerdeki ayrıntılı sayısal öngörülerde hem de geniş bir alandaki o zamana dek açıkça ilintisiz gerçekleri birleştirebilmesindeki - deneysel başarısıdır. Aşağıda, bu başarıları aydınlatıcı iki örnek olarak, Kepler'in yasalarını ve okyanustaki gelgit olaylarını kullanıyoruz. Yalnız, önce *Principia*'da bulunan matematiğe bakıyoruz.

9.1 Newton'un Geometrik Kanıtlarının Bir Örneği

Bu ve bundan sonraki kısımda, Newton'un, Kepler'in gezegenlerin hareketiyle ilgili yasalarını, kendi dinamik ve kütleçekim yasalarından çıkarmak için kullandığı savların matematiksel bir gösterimini veriyoruz. Sunumumuz, Newton tarafından kullanılan uslamlama çizgisine sadık kalmaya ve ayrıca *Principia*'nın biçeminin ve tadının farkına varılmasına çalışıyor. Umarız bu, özgün metinle modern gösterim arasında makul bir uzlaşıdır. Modern analitik standartlara göre, *Principia*'nın bu temelde geometrik kanıtlarındaki kusurlar çok açıktır.

I. Kitap'ta izlemek istediğimiz akıl yürütme çizgisinin mantıksal yapısı şöyledir: (Temel dinamik yasası her zaman $\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$ diye alınır.) 1. önerme, merkezi bir kuvvetin hem Kepler'in eşit sürelerde eşit alanlarla ilgili ikinci yasasını hem de yörüngenin bir düzlem içinde bulunduğu gerçeğini ortaya koyarken, 2. önerme bunun tersini kanıtlar. 11., 12. ve 13. önermeler, odağa doğru yönelmiş merkezi bir kuvvet için, düzlemsel bir konik kesit yörüngesinin ters-kare bir kuvvet yasası gereksindiğini gösterir. 17. önerme, bir cisim, merkezi kuvvetin verilen bir merkezi etrafında konik bir kesitte hareket ediyorsa, belirtilen bir başlangıç koşulları kümesinin, bu konik kesiti bütün olasılıkları eleyerek tek bir şekilde belirlediğini kanıtlar. 13. önermenin 1. sonucu, ters-kare bir kuvvet ve verilen bir başlangıç

koşulları kümesi için, hem $t = t_0$ anındaki başlangıç koşullarını hem de ($\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$) hareket denklemini tüm zamanlar için sağlayan bir konik kesitin her zaman var olduğu sonucuna ulaşır. 42. önerme, bu açıkça ortaya konmuş olan çözümün olası tek yörünge olduğunu savlar. Bu, Kepler'in ilk yasasını kanıtlar (ve aslında, elipslerle birlikte hiperbolleri ve parabolleri de içerir). 15. önerme, Kepler'in üçüncü yasasını ifade eder. (Bu ve bundan sonraki kısımda, bu sekiz önermeyi bu sırayla inceleyeceğiz.) Son olarak, 70., 71. ve 75. önermeler, düzgün bir kütle kabuğunca oluşturulan kütleçekim kuvvetini ele alır. (Bu son üç önerme Kısım 8.5'te incelenmişti.)

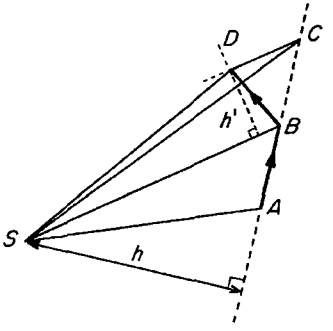
Şimdi, Newton'un, Kepler'in ikinci yasası (eşit sürelerde eşit alanlar) için akıl yürütmesine dönelim. *Principia*'da, Kepler'in gezegenlerin hareketiyle ilgili ikinci yasasını aşağıdaki gibi ifade eder:

> *1. Önerme.* Dönerek hareket eden cisimlerin, hareketsiz bir kuvvet merkezine çizilen yarıçaplarla taradıkları alanlar, aynı hareketsiz düzlemlerde yer alırlar ve tarandıkları sürelere orantılıdırlar.[2]

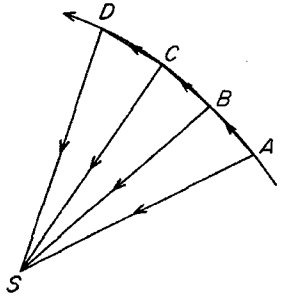
Sabit bir kuvvet merkezine doğru yönelen böylesi merkezi bir kuvvetin etkisi altındaki bir cismin, sabit bir düzlemde hareket etmesi gerektiğine dikkat ediniz. Modern bakış açısından bu, cismin başlangıç hız vektörüyle, cisimden sabit kuvvet merkezine olan (başlangıçtaki) anlık kuvvet vektörünün (ya da, buna eşdeğer biçimde, kuvvet merkezinden cisme olan başlangıç konum vektörünün) bir düzlem tanımladığı gözleminin bir sonucudur. İvme vektörü (ya da kuvvet vektörü) bu düzlemde yer aldığı için, hız vektöründeki tüm değişiklikler de, tıpkı tüm gelecek hız vektörleri gibi, bu düzlemde yer alacaklardır. Yarıçap vektörü o zaman bu sabit düzlemde bir yörünge çizer.

Şimdi Kepler'in ikinci yasasının (Newton tarafından kullanılan tipte) bir temel geometrik çıkarımını veriyoruz. Merkezi bir kuvvet her zaman, Şekil 9.1'de gösterildiği gibi, hareket eden cisimden sabit S noktasına doğrudur. Hiçbir kuvvet etki etmeseydi, o zaman başlangıçta A'da olan bir cisim eşit zaman aralıklarında önce B'ye ve sonra da C'ye hareket ederdi, burada $AB = BC = v\Delta t$'dir. Eğer B'de, S'ye doğru olan, büyük bir kuvvet bir an için etki ederse,

o zaman cismin izlediği yol *BD* yönüne doğru çevrilecektir. Hızdaki değişiklik (ya da ivme) *CD* doğrultusunda ve *SB*'ye paralel olduğundan, *CD*'nin *SB*'ye paralel olduğunu görürüz. Herhangi bir üçgenin alanının, tabanıyla, bu tabana dik yüksekliğin çarpımının yarısına eşit olduğu Öklit geometrisinin temel bir teoremidir. *SAB* ve *SBC* üçgenleri aynı h yüksekliğine sahip olduklarından, alanları birbirine eşittir; çünkü, sırasıyla, *AB* ve *BC* tabanları birbirine eşittir. Bununla birlikte, *DC*, *SB*'ye paralel olduğundan, *SB* tabanını paylaşan *SBC* ve *SBD* üçgenleri yine aynı (h') yüksekliğine sahiptir, böylece *SBC*'nin alanı *SBD*'ninkine eşittir. Bu bize, *SAB*'nin alanının *SBD*'ninkine eşit olduğunu söyler. Yani, eşit zaman aralıklarında eşit alanlar taranmıştır.



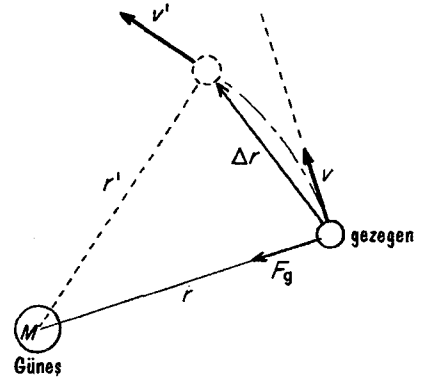
Şekil 9.1 Newton'un, Kepler'in ikinci yasası için geometrik akıl yürütmesi



Şekil 9.2 Çok küçük argümanlardan sürekli bir limit

Düzgün bir eğri alır, onu, Şekil 9.2'de gösterildiği gibi, bir dizi düzgün doğru parçalarıyla yaklaşık olarak oluşturur ve *B*, *C*, *D*, vb. gibi birbirini izleyen noktalara anlık itkisel merkezi kuvvetlerin etki etmesine izin verirsek, o zaman az önce verilen akıl yürütme *SAB*, *SBC*, *SCD*, vb. gibi eşit zaman aralıklarında taranan tüm üçgenlerin alanlarının eşit olacağını gösterecektir. Eşit zaman aralıkları git gide küçüldükçe, böylece eğri üzerindeki *A*, *B*, *C*, *D*, vb. noktaları birbirlerine daha da yaklaşırlar, merkezi kuvvet sürekli olarak etki ediyor olacaktır. Bu limitte, kuvvet merkezinden yalnızca merkezi bir kuvvet etkisi altında hareket etmekte olan herhangi bir cisme olan yarıçap vektörünün, eşit zaman aralıklarında eşit alanlar taradığı sonucunu elde ederiz.

Şimdi, bir cismin eşit zaman aralıklarında eşit (düzlemsel) alanlar taradığı (ki böylece Şekil 9.1'deki *SAB* ve *SBD* üçgenlerinin alanları eşittir) ve (*DC* boyunca) hızdaki değişikliğin bu ortak düzlemde yer alan kapalı *BDC* üçgenini oluşturduğu verildiğinde, akıl yürütüşümüzü geriye doğru da döndürebiliriz. *SAB* ve *SBC* üçgenlerinin alanları eşit olduğundan (çünkü ortak *h* yüksekliğini paylaşıyorlar), *SBC* ve *SBD* üçgenlerinin alanları da eşit olmalıdır. Bu, ortak *SB* tabanları için ortak bir yüksekliğe (*h'*) sahip olmalarını gerektirir. Bu, *DC*'nin *SB*'ye paralel olması, ya da kuvvetin merkezi bir kuvvet olması demektir. Yani, bir cisim eşit zaman aralıklarında eşit alanlar tararsa, üzerine merkezi bir kuvvet tarafından etki edilir. Bu aslında Newton'un savı için verdiği kanıttır:



Şekil 9.3 Çok küçük bir farklılıkla varlık/teklik argümanı

> 2. *Önerme.* Bir düzlemde çizilmiş herhangi bir eğri üzerinde ve ... kımıldamayan ... bir noktaya çizilen bir yarıçapla hareket eden her cisim, bu nokta etrafında sürelere orantılı alanlar tarar, bu noktaya doğru yönelmiş bir merkeze doğru kuvvet tarafından sıkıştırılır.[3]

Bu eşit alanlar yasasının yalnızca bir ters-kare kuvvet için değil, her merkezi kuvvet için doğru olduğuna dikkat ediniz.

9.2 Kepler'in Birinci ve Üçüncü Yasaları[4]

Önce kendimize, Newton'un kütleçekim yasası ve onun ikinci hareket yasası verildiğinde, gezegene ait bir yörüngenin şeklinin nasıl belirlenebileceğini sorarak başlayalım. Önce bu iki yasanın birlikte, Güneş etrafında dönen bir gezegenin ya da gök cisminin olası yörüngelerinin ya da izlediği yolların hesaplanabilmesini olanaklı kıldığına ilişkin (kesin bir matematiksel kanıt değil) bir inanılabilirlik argümanı veriyoruz. Güneş'in kütlesi ($M = 2{,}0 \times 10^{30}$ kg) gezegenlerin kütlelerinden (gezegenlerin içinde kütlesi en büyük olan Jüpiter'in bile kütlesi yalnızca $m = 1{,}9 \times 10^{27}$ kg'dır) çok daha büyük olduğundan, kolaylık açısından bu incelemede Güneş'i hareketsiz olarak alıyoruz. Şekil 9.3 (tanımı gereği her zaman yörüngeye teğet olan) $\mathbf{v}$ anlık hızında ve Güneş'ten r uzaklığında bir gezegeni gösteriyor. Bir başlangıç anında gezegenin (r) konumu verilirse, m üzerine etki eden kütleçekim kuvvetini hesaplamak için

$$F(r) = -\frac{GMm}{r^2} \tag{9.1}$$

kullanabiliriz. $\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$ yasası, gezegenin $\boldsymbol{a}(= \Delta\mathbf{v}/\Delta t)$ anlık ivmesini verecektir. Bir kez $\mathbf{v}$ başlangıç hızı verildiğinde, kısa bir Δt süresi sonraki $\mathbf{v}'$ hızını $\mathbf{v}' = \mathbf{v} + \Delta\mathbf{v} = \mathbf{v} + \boldsymbol{a}\Delta t$ olarak bulabiliriz. Bu küçük zaman aralığındaki konum değişikliği $\Delta\boldsymbol{r} = \mathbf{v}\Delta t$'dir. Bu bize, Güneş'ten olan yeni ($\boldsymbol{r}' = \boldsymbol{r} + \Delta\boldsymbol{r}$ olduğundan) $\boldsymbol{r}'$ uzaklığını verir; böylece bir sonraki yeni konum için bu hesabı yineleyebiliriz ve bu şekilde devam ederek bütün yörüngeyi ortaya çıkarabiliriz. Bugün bu programı analitik olarak yürütebilmek için genellikle hem kalkülüs

hem de diferansiyel denklemler kullanılır. Bununla birlikte, burada değerini bilmemiz gereken önemli nokta, gezegenin başlangıç konumu ve hızı bir kere belirtildikten sonra, (9.1) denkleminin ve $\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$'nın, gezegenin gelecekteki tüm konumlarını ve hızlarını tek bir biçimde mekanik olarak öğüteceği ya da önceden tahmin edebileceğidir. Bunu, $\boldsymbol{r}_0$ ve $\mathbf{v}_0$ başlangıçta bir kere verildiğinde 'doğa'nın (ya da aslında Newton'un yasasının) $\boldsymbol{r}(t)$'yi gelecekteki tüm zamanlar için saptadığını belirterek, biraz kesinlikten uzak bir biçimde söyleyebiliriz. Burada bu ifadeyi kanıtlamadık, ama yalnızca akla yatkın olduğunu göstermeye çalıştık.

Newton'un kendisinin, Kepler'in birinci ve üçüncü yasalarını çıkarışını anlatmaya geçmeden önce, konik kesitlerin bazı geometrik özelliklerini gözden geçirmeliyiz. Bunun için, bir yörünge için eğrilik kavramı temel bir şeydir. Bir eğrinin eğrilik merkezini,[5] eğri üzerindeki komşu noktalardan geçen ve çizilen dik doğruların kesişim noktası olarak tanımlarız. Şekil 9.4'te P_1C_1, PC ve P_2C_2 doğruları, eğrinin sırasıyla P_1, P ve P_2 noktalarındaki teğetlerine dik olan doğruları göstermektedirler. P_1 ve P_2, P'ye yaklaşırlarken, C_1 ve C_2 noktaları eğrinin P noktasındaki eğrilik merkezi olan bir C noktasına yaklaşırlar. PC uzaklığı eğrilik yarıçapıdır ve bunu ρ ile gösteririz. Eğrilik merkezinin bu açık tanımlaması, eğrilerin zarfları üzerine araştırmalarında (1659)[6] Huygens'e ve ondan bağımsız olarak, Newton'a (1665)[7] özgüdür.

Bir konik kesitin klasik tanımı (Kısım 5.A'yı hatırlayınız), belirli bir noktadan (F odağından) olan uzaklığın belirli bir düz doğrudan (doğrultman doğrusu) olan (d) dik uzaklığına olan oranının sabit (e dışmerkezlilik) olduğu tüm noktaların kümesidir. Şekil 9.5'in geometrisinden, bu tanımın analitik olarak ((5.5) denklemini hatırlayınız)

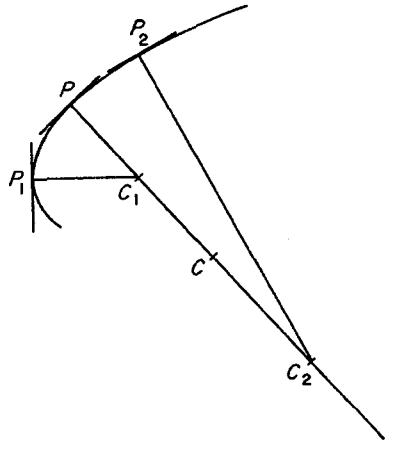
$$\frac{r}{d+x} = e \tag{9.2}$$

biçiminde ifade edilebileceğini görürüz. ($0 \le e < 1$ için elips (ç.n.: $e = 0$ için daire); $e = 1$ için parabol; $e > 1$ için hiperbol elde ederiz.)

Bu, konik bir kesit için[8]

$$\rho\cos^3\gamma = de \tag{9.3}$$

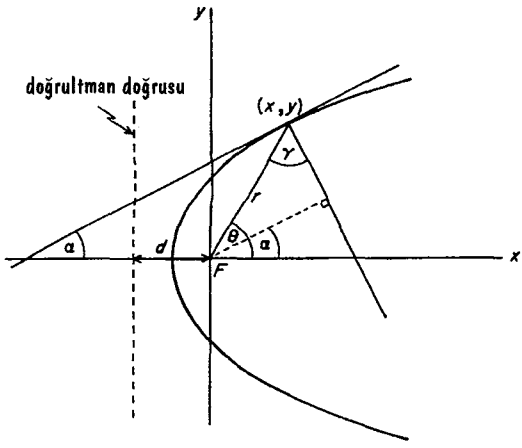
önemli geometrik özelliğini çıkarmamıza izin verir. Bu ilişki, daha sonraki Newton'un Kepler'in birinci yasası için akıl yürütüşünü gösterişimizde temeldir. (9.3) denkleminin sonucunun her tür konik kesit için geçerli tamamen geometrik bir sonuç olduğu açık olmalıdır. Newton'un, Kepler'in birinci ve üçüncü yasalarını elde etmesini böyle özellikler sağlamıştır. Günümüz okuyucularının çoğu için (9.3) denklemi konik bir kesiti ifade etmek için açık olmayan ve aslında tuhaf bir yol olarak görünmelidir.



Şekil 9.4 Eğrilik yarıçapı

Şimdi Newton'un, bir cisim odağa doğru yönelmiş bir merkezi kuvvetin etkisi altında bir konik kesit üzerinde hareket ederse, kuvvetin ters-kare bir kuvvet olması gerektiğini kanıtlayışına dönüyoruz.

11. Önerme. Bir cisim bir elips üzerinde dönerse; elipsin odağına doğru olan merkezcil kuvvet yasasını bulmak gerektir.[9]



Şekil 9.5 Newton'un akıl yürütüşünün geometrisi

12. ve 13. önermeler, sırasıyla hiperbol ve parabol hallerini ele almak dışında aynıdırlar.

Newton, $\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$ dinamik hareket denklemini, merkezi bir $\boldsymbol{F}(\boldsymbol{r}) = f(r)\,\hat{\boldsymbol{r}}$ kuvveti için uygularken, ilk olarak daha önceden 1. önermede kanıtladığı Kepler'in ikinci yasasını kullandı. (Yukarıdaki Kısım 9.1'i hatırlayınız.) $\mathbf{v}$'nin θ-yönündeki birleşenini (yani, Şekil 9.5'te $\mathbf{v}$'nin $\boldsymbol{a}$'ya ya da $\boldsymbol{r}$'ye dik olan birleşenini) v_θ ile gösterirsek, (dA/dt) alanın süpürülme hızının $(1/2)rv_\theta$'ye eşit olduğunu görürüz. Bu, Kepler'in ikinci yasasına göre bir sabit olduğu için

$$\frac{dA}{dt} = \frac{1}{2} r_0 v_{\theta_0} = \frac{1}{2} r_0 v_0 \cos\gamma_0 = \frac{1}{2} rv\cos\gamma = \frac{1}{2} r^2\omega = sabit \qquad (9.4)$$

biçiminde yazabiliriz. Burada ω, cismin F odağı etrafındaki anlık açısal hızıdır ve γ, Şekil 9.5'te resmedildiği gibi, $\boldsymbol{r}$ ile eğrilik merkezine olan doğru arasındaki açıdır. (9.4) denkleminin

$$v(\theta) \equiv \frac{ds}{dt} = \frac{2(dA/dt)}{r(\theta)\cos\gamma} = h(\theta) \qquad (9.5)$$

formunda olduğuna dikkat ediniz; burada $h(\theta)$ şimdi θ'nın bilinen

bir fonksiyonudur. v hızıyla gezegenin konumu arasındaki bu niceliksel ilişki, Kepler'in ikinci yasası tarafından gerektirilmektedir. Bu, temel olarak (ivme vektörünün her an uzayda sabit bir noktaya doğru yöneldiği bir) merkezi bir kuvvet altında hareketin olması güvencesini veren bir yoldur. Dolayısıyla, (9.4) denklemini sağlamak, herhangi bir $r = r(\theta)$ için her zaman olasıdır. Bu koşul, merkezi-kuvvet hareketini sağlama alır ve merkezi bir kuvvetin etkisi altında hareket (9.5) denklemini gerektirir. Bu nedenle, merkezi-kuvvet probleminin bu kısmının bir çözümü olduğunu kabul ederiz. Bu, merkezi-kuvvet probleminin, temel olarak zamanı içeren 'kinematik' bir kısımla ((9.5) denklemi) yörüngenin şeklini belirleyen, tamamen geometrik bir kısma ayrışmasına izin verir. Bu ayrımın nasıl çıktığına bir göz atalım.

Newton, $\boldsymbol{a}$'nın radyal (ç.n.: merkezden çıkan) bileşkesini doğrudan ele almak yerine, fiili olarak $\boldsymbol{a}$'nın normal (ç.n.: dik) yön boyunca (ya da Şekil 9.5'te ρ eğrilik yarıçapının yönü boyunca) olan izdüşümüyle uğraştı. Yani, m anlık olarak yarıçapı ρ olan bir çemberde hareket ediyor diye kabul edilebilir ve gereken merkezcil kuvvet $\boldsymbol{F}$'nin normal yön boyunca olan bileşkesince

$$\frac{mv^2}{\rho} = |f(r)| \cos \qquad (9.6)$$

olarak sağlanır. (9.4) denklemini kullanırsak bunu

$$|f(r)| = \frac{4m(dA/dt)^2}{\rho \cos^3 \gamma} \frac{1}{r^2} \qquad (9.7)$$

biçiminde yeniden yazabiliriz. Bununla birlikte, (9.3) eşitliğinden, bu denklemin sağ tarafındaki paydadaki ilk çarpanın bir sabit olduğunu görürüz. Bu, yörünge bir odağa doğru çekimle konik bir kesit ise, merkezi kuvvetin bir ters-kare kuvvet olması gerektiğini kanıtlar.

Şimdi bunun tersine bakalım.

17. Önerme. Merkezcil kuvvetin, yerlerin merkezden olan uzaklıklarının kareleriyle ters orantılı olduğunu ve bu kuvvetin mutlak değerinin

bilindiğini kabul ederek; verilen bir yerden, verilen bir hızla, verilen bir dik doğru yönünde serbest bırakılan bir cismin izleyeceği doğrunun belirlenmesi gerekir.[10]

Aslında Newton'un bu önermenin kanıtında yaptığı, bir kez (merkezi kuvvetin yöneldiği) F odağı verildiğinde, koniğin üzerindeki bir noktada teğetin ve eğrilik yarıçapının değerlerinin koniği tek bir biçimde belirlediğidir. Bu basitçe, verilen bir odak için verilen bir noktadan, buradaki teğet ve eğrilik yarıçapı belirtildikten sonra, yalnızca bir konik kesitin geçebileceğidir. Geometrik akıl yürütüşü oldukça uzun ve anlaması zordur, bu yüzden bu kısımdaki gösterimle kanıtının açıklaması için okuyucuyu başka bir yere yönlendiriyoruz.[11] Burada bu sonucu basitçe kanıtlanmış olarak kabul ediyoruz.

Sonra şu problemi ele aldığımızı düşünün: Kütlesi m olan bir cisim, F noktasındaki sabit bir kuvvet merkezi etrafında çekici bir ters-kare merkezi kuvvetin etkisi altında dönüyor olsun. $\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$ dinamik hareket denkleminin tüm zamanlarda sağlanması gereken (9.4) ve (9.6) denklemlerinin iki koşuluna indirgenildiğini daha önceden görmüştük. $\boldsymbol{r}_0$, ($t = t_0$ anında) $\mathbf{v}_0$ ve λ ($f(r) = -\lambda/r^2$ denklemindeki kuvvet sabiti) için rasgele değerler verildiğinde, (9.4) denklemindeki (dA/dt) sabitini belirleyebiliriz; çünkü teğetin değeri Şekil 9.5'teki geometriden α_0'ı (ve dolayısıyla γ_0'ı) verir. Sonrasında ρ_0 için bir değeri (bakınız (9.7) denklemi)

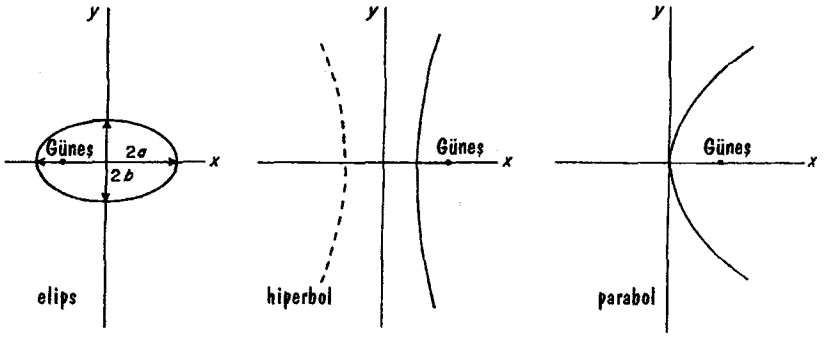
$$\rho_0 = \frac{4m(dA/dt)^2}{\lambda \cos^3 \gamma_0} \tag{9.8}$$

olarak seçebiliriz. Bir önceki paragrafta az önce ifade ettiğimiz gibi bu, $\boldsymbol{r}_0$ ve $\mathbf{v}_0$ ile birlikte, tek bir konik kesiti belirleyecektir. Bu tek konik kesiti $r(\theta)$ ile gösterelim. Bu konik öyledir ki, $t = t_0$ anında $\boldsymbol{r}_0$ ve $\mathbf{v}_0$'ı (yani, θ_0 için r_0, v_0 ve α_0'ı) verir. Aynı anda tüm zamanlar için hareket denklemini ((9.6) denklemi) sağlar (11. önermeyi ve izleyen tartışmayı, özellikle (9.7) denklemini, hatırlayınız). Modern terminolojiyle açıkça öyle bir $\boldsymbol{r}(t)$ gösterdik ki, $\boldsymbol{r}(t_0) = \boldsymbol{r}_0$ ve $\mathbf{v}(t_0) = \mathbf{v}_0$ başlangıç koşulları sağlandı ve bunu izleyen tüm anlar için $\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$'yı gerçekleştirdik. Bu, ters-kare bir merkezi kuvvetin yörünge olarak her

zaman bir konik kesite sahip olduğunu kanıtlar. Newton'un bu akıl yürütüşü biraz üstü kapalı bir biçimde ima etmesi, 13. önermenin 1. sonucundadır.[12]

> Son üç önermeden [11, 12 ve 13], herhangi bir *P* cismi *P* yerinden herhangi bir *PR* dik doğrusu yönünde herhangi bir hızla giderse ve aynı zamanda yerlerin merkezden olan uzaklığının karesiyle ters orantılı olan bir merkezcil kuvvetin etkisi altında kalırsa, cismin, odağı kuvvet merkezinde olan konik kesitlerden biri üzerinde hareket edeceği ve bunun tersinin de doğru olacağı görülür. Çünkü odak, dokunma noktası ve teğetin konumu verildiğinde, o noktada belirli bir eğriliği olacak bir konik kesit belirlenebilir. Fakat eğrilik merkezcil kuvvetten ve verilen cismin hızından verilir...[13]

Böylece, merkezi-kuvvet probleminin çözümünün var olduğuna ilişkin soruya şimdi yanıt vermiş olduk ve çözüm olarak her zaman tek ve yalnızca bir konik kesitin var olduğunu gösterdik.[14] Bununla birlikte bu, konik kesit olmayan başka çözümlerin de var olup olmadığı sorusunu mantıksal olarak hâlâ yanıtsız bırakıyor. Newton bu sorunun farkındaydı ve bunu yanıtlamayı denerken,[15] akıl yürütüşü bulunduğumuz kısmın başında verilen (bakınız Şekil 9.3) ardışık (ç.n.: İngilizcesi 'iterative': Sürekli yinelemelerden oluşan) (ya da çok küçük farklılıklarla) argüman tipinin yalnızca fiziksel çözüme götüreceği önsezisine ağırlıklı olarak dayanıyordu.



Şekil 9.6 İzin verilen ters-kare yörünge çeşitleri

Belki de bu sonuçları günümüz okuyucusuna daha tanıdık bir biçimde özetlememiz yararlı olacaktır. Güneş etrafında hareket eden herhangi bir gök cismi için, izin verilen yalnızca üç olası yörünge çeşidi vardır. Birisi bir *elips*tir ve bu Newton'un kütleçekim yasasının izin verdiği tek kapalı yörünge çeşididir. (Tabii ki daire, elipsin özel bir halidir.) Bu hareket periyodiktir (ç.n.: kendini düzenli aralıklarla yineler) ve gezegen hiçbir zaman Güneş'ten belirli bir maksimum sonlu uzaklıktan daha fazla uzaklaşmaz. Bundan, bazen sınırlı hareket ya da yeniden girme yörüngesi diye söz edilir. İki çeşit sınırsız hareket de olasıdır. Bu durumlarda cisim (genellikle bir kuyrukluyıldız) Güneş'in yanından yalnızca bir geçişte bulunabilir ve sonrasında Güneş Sistemi'ne bir daha hiç dönmeyebilir. Bu tür sınırsız hareket için yörünge yeniden girmesizdir. Bu yörüngelerden biri bir *hiperbol* ve diğeri de bir *parabol*dür. Bu üç eğrinin kabataslak çizimleri Şekil 9.6'da verilmiştir. Şu andaki amaçlarımız bakımından, hiperbolle parabol arasında gerçekten küçük bir fark vardır. Bir gök cisminin hızı yeterince büyükse, açık bir yörüngeye (hiperbol ya da parabol) sahip olacaktır ve Güneş'in yanından bir kere geçtikten sonra, Güneş'in kütleçekim alanından kaçarak, sonsuza doğru uzaklaşacaktır. Hızı o kadar büyük değilse, yörüngesi sınırlı (bir elips ya da daire) ve periyodik olacaktır. Kepler'in birinci yasasının Newton'un hareket ve kütleçekim yasalarından çıkarıldığını gördüğümüz halde, sonucumuzla yalnızca Kepler'in birinci yasasından çok daha fazlasına ulaşırız. Yalnızca, elipslerin tek olası sınırlı yörüngeler olmakla kalmadığını değil, açık yörüngelerin izin verilen iki çeşidinin kesin doğasını da öğreniriz.

Olası kapalı yörüngelerin yalnızca elipsler olacağı sonucunun, Newton'un kütleçekim yasasının (her zaman gezegenden Güneş'e doğru olduğundan) merkezi bir kuvvet tanımlaması ve bunun uzaklığın tam olarak karesinin tersiyle değişmesi gerçeğine dayandığının belirtilmesi kayda değerdir. İki cisim arasındaki kütleçekimsel çekim $1/r^2$ yerine, diyelim, $1/r^3$ olarak değişseydi, gezegenlerin sınırlı yörüngeleri elipsler (hatta kapalı olmak zorunda bile) olmazdı. Biraz önce gördüğümüz gibi, bir elips oluşturabilecek (bir odağa doğru yönelmiş)

tek merkezi kuvvetin bir ters kare yasası olduğu, matematiksel olarak kanıtlanabilir. Newton *Principia*'da şöyle der:

> Gezegenleri sürekli olarak düzgün doğrusal hareketlerden alıkoyan ve onları uygun yörüngelerinde tutan... kuvvetlerin... bu gezegenlerin yerlerinin Güneş'in merkezinden olan uzaklıklarının karelerinin tersiyle orantılı olması... büyük bir kesinlikle, günöte noktalarının devinimsizliğinden gösterilebilir;...[16]

Newton'un 'günöte noktalarının devinimsizliği' ile anlatmak istediği, bir gezegenin Güneş'ten en büyük uzaklıkta (Şekil 5.10'daki r_2) olan noktasının konumunun (Güneş'in gözlem çerçevesine göre) uzayda sabitlenmiş olduğu ve gezegen yörüngesinde birbirini izleyen dönüşler yaparken ilerlemediğidir. Kuvvet yalnızca bir ters-kare kuvvet olmasaydı, günöte noktasının zaman içinde hareket edeceğini öne sürüyor. Bu, (hareket sınırlı kalsa bile) yörüngenin kendi üzerine düzgün bir biçimde kapanmayacağını söylemeye eşdeğerdir.

Newton son olarak Kepler'in üçüncü yasasını ele aldı.

> *15. Önerme.* Aynı şeyler [yani, sabit bir ters-kare merkezi kuvvetin etkisi altında hareket] varsayıldığında, derim ki, elipslerdeki periyodik süreler büyük eksenlerinin 3/2*inci* kuvveti gibidirler.[17]

Bu, Kepler'in ikinci yasasının ve elipsin Newton'un daha önceden elinde bulunan geometrik özelliklerinin doğrudan sonucu oluyordu.[18] Kepler'in üçüncü yasası, kütleçekim yasasının $1/r^2$ biçimine ve bu kuvvetin merkezi olması özelliğine dayanır. (Kepler'in üçüncü yasasının kütleçekimin ters-kare yasasından çıktığını, (8.1) denkleminin de gerektirdiği gibi, dairesel yörüngelerin özel durumunda görmek özellikle kolaydır.)

Dolayısıyla, bir mantık alıştırması olarak, kütleçekimsel çekim kuvvetinin merkezi bir kuvvet olması gerektiği sonucunu, Kepler'in eşit alanlarla ilgili ikinci yasasından çıkarabiliriz. Sonrasında, Kepler'in gezegenlerin yörüngelerinin elipsler olduğunu belirten birinci yasasından, kütleçekim kuvvetinin bir ters-kare yasa olması gerektiği sonucuna varabiliriz. Sonra bu bilgiden, Kepler'in ortalama

yarıçap ile gezegenin periyodu arasında ilişki kuran üçüncü yasasını elde edebiliriz. Kepler'in üçüncü yasası, mantık olarak ilk iki yasasından bağımsız değildir. Newton, gördüğümüz gibi Kepler'in ikinci ve üçüncü yasalarından başladı ve bunlardan Kepler'in eliptik yörüngelerle ilgili birinci yasasına akıl yürüttü. Bununla birlikte, bu bağımlılığı yalnızca Newton mekaniğinin çerçevesi içinde kanıtlayabiliriz. Newton'un $\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$ hareket denklemi olmaksızın bu ilişkiyi görmenin yolu yoktur.[19]

9.3 Küçük Sapmalar

Aslında, tüm gezegenler ve gök cisimleri birbirlerini çektikleri için, Güneş etrafında dönen bir gezegen sorusu, sunduğumuzdan daha karmaşıktır. Gezegen ve Güneş bütün evrendeki tek cisimler olsalardı, o zaman yörünge basit bir elips olurdu. Bununla birlikte, Güneş Sistemi'ndeki diğer gezegenler de, gezegen üzerine kuvvet uygularlar ve yörüngeyi kusursuz bir elips olandan az da olsa oynatırlar. Bu küçük oynamalar *küçük sapmalar* (ç.n.: İngilizcesi 'perturbations') olarak anılırlar. Tüm bu sapmalara yola açan kuvvetler, kütleçekim yasasına ((9.1) denklemi) uyduklarından ve Güneş'in kütleçekim etkisi gezegenler için en önemlisi olduğundan, gezegenlerin eliptik yörüngelerine olan bu küçük düzeltmeleri hesaplamak olasıdır. Gezegenlerin gerçek yörüngeleri, bu küçük sapmalar dahil edildiğinde yapılan kestirimlerle uyum içindedir.

Bununla birlikte, $1/r^2$ ile orantılı bir kuvvet için yörüngenin denklemi, az önce gördüğümüz gibi, konik kesitler verecek şekilde tam olarak çözülebildiğinden, doğanın bize karşı nazik (ya da 12. Konu'da göreceğimiz gibi, bizimle oynadığı mükemmel 'aldatma' göz önüne alındığında belki de kaba) olduğu iyi bilinir. Newton bu kadarını biliyordu, fakat O'nun için Güneş Sistemi gibi çok cisimli bir düzenlemenin, gezegenlerin birbirlerinin Güneş etrafındaki yörüngeleri üzerinde neden olacakları karşılıklı küçük sapmalar altında kararlı kalacağı açık değildi. Joseph-Louis Lagrange (1736-1813) ve Pierre-Simon Laplace (1749-1827), genellikle küçük

sapmalar sorununu Güneş Sistemi'nin uzun süreli kararlılığının lehinde çözümlemeleri başarısıyla anılırlar. Fakat asıl tarihi kayıt çok daha karışıktır.[20] Gezegenlerdeki küçük sapmaları çalışan daha önceki ve sonraki tüm çalışanlar gibi Lagrange ve Laplace da, zorunlu olarak analizlerinde yaklaşık hesaplamalar kullanmışlardı ve denklemlerini küçük açılım parametrelerinin aşağı kuvvetlerinde kesmişlerdi. Lagrange, gezegenlerin küçük sapmaları kuramı üzerine 1766'da önemli bir makale yayınladı ve Laplace 1773'te içindeki tüm terimlerin periyodik olduğu (ya da yalnızca bir defa çıkmak yerine uzun sürelerde yinelendiği) çözümler buldu. 1776'da Lagrange ve 1809'da da Siméon-Denis Poisson (1781-1840) Laplace'ın sonuçlarını genişlettiler. 1876'ya gelindiğinde, Simon Newcomb (1835-1909), gezegenlerin küçük sapmaları için çözümleri, bu seriler yakınsadığı durumda, tamamen periyodik fonksiyonlarla ifade etmenin olası olduğunu gösterdi. Güneş Sistemi'nin kararlılığı kanıtlanmaya çok yakınmış gibi (yalnızca 'teknik' bir ayrıntı uzaklığında) görünüyordu. Buna karşın, 1892 yılındaki ayrıntılı incelemesinde Poincaré, bu serilerin genel halde ıraksadıklarını gösterdi. Bu tür sonuçlar, bugün bildiğimiz haliyle, (12. Konu'da incelenecek olan) modern belirlenimci (ç. n. İngilizcesi 'deterministic') kaos kuramının tohumlarıdır.

Bu tür küçük sapmaların gözlemlenmesi, Neptün gezegeninin keşfedilmesine yol açtı. 13 Mart 1781'de William Herschel Uranüs gezegenini keşfetti. Uranüs, o zaman için bilinen, Güneş'ten en uzak gezegendi. Bununla birlikte, Jüpiter'in ve Satürn'ün etkilerinden kaynaklanan küçük sapmalardaki düzeltmeler yapıldığında, Uranüs'ün gözlemlenen yörüngesi hâlâ öngörülenle uyuşmuyordu. Hem İngiliz John Adams (1819-1892) hem de Fransız Urbain Leverrier (1811-1877), birbirlerinden bağımsız olarak, Uranüs'ün ötesinde daha fazla küçük sapmalara neden olan, o zamana dek gözlemlenememiş bir başka gezegenin olması gerektiğini hesapladılar. 23 Eylül 1846'da Alman gökbilimci Johann Galle (1812-1910), tam da Leverrier'in olduğunu öngördüğü yerde, yeni bir gezegen (Neptün) buldu. Bu konuya Kısım 11.2'de geri döneceğiz.

Böylelikle, en azından bir özet olarak, Newton'un mekaniğinin ve kütleçekim kuramının, gezegenlerin hareketi olaylarını ilke olarak nasıl açıkladıklarını görmüş olduk. Bu tür problemler, tabii ki, kütleçekim kuramının ve klasik mekaniğin büyük bir kısmının başlangıcıydı. Şimdi bu kuramsal sistemin, insanoğlunu çağlar boyunca meşgul eden bir başka problemi de nasıl çözümlediğini göstereceğiz.

9.4 Newton'dan Önce Okyanuslardaki Gelgitler

Kıyı şeridindeki deniz seviyesinin, belirli bir düzenlilikle yükselip alçaldığı ve bu değişimlerin, Ay'ın konumuyla bağlantılı olduğu, çok daha önceden antik çağlarda yapılmış gözlemlerdi. Babilli Seleucus (~ MÖ 150), Ay'ın gelgit dalgaları üzerine etkilerini gösterebilmişti.[21] Antik Yunanlılar, gelgitin etkileri daha küçük olan Akdeniz'de, Atlantik ve Pasifik okyanuslarındaki etkiler kadar belirgin olmasalar da, gelgit dalgaları hakkında fikirler belirtmişlerdi. Yeniay ve dolunay evreleri sırasında görülen, normalden daha büyük gelgit dalgalarından (İngilizce 'spring tide' (ç.n.: taşan, büyük gelgit) denir) ve ilkdördün ve sondördün evreleri sırasında görülen normalden daha küçük gelgit dalgalarından (İngilizce 'neap tide' (ç.n.: alçak gelgit) denir), ilk olarak Rodoslu Poseidonios (~ MÖ 135 – ~ 51) söz etmişti. Aynı zamanda gelgit dalgalarının, Ay'ın yanı sıra, Güneş'le de ilişkili olduğunu önerdiği kabul edilir.[22] Romalı araştırmacı Pliny the Elder (MS 23–79) (ç.n.: İngilizce'de 'elder' yaşlı ve saygı duyulan kişi demektir) *Historia Naturalis* (*Doğa Tarihi*) adlı eserinde, gelgit dalgalarından ve gelgit dalgalarının yükselmesi ve alçalmasıyla bir kuyudaki suyun yükselmesi ve alçalması arasındaki ilişkiden söz etmişti.[23] İslam düşünürü el-Kindi (öl. ~ MS 870), gelgit dalgaları hakkında ayrıntılı bir inceleme yazmıştı. İddia edilene göre, Avrupa'da yedinci yüzyılın sonundaki seçkin araştırmacı İngiliz Benedict keşişi Saygıdeğer Bede (672/673–735), (ç.n.: İngilizcesi 'Bede the Venerable'. 'Venerable', Roma Kilisesi'nde azizliğe yükseltilmiş kişilere verilen sandır) gelgit dalgaları hakkındaki kendi gözlemlerini kaydetmişti.[24] Bu gelgit dalgalarının nedenleri hakkında varsayımların sonu yoktu; deniz sularının

Ay'ın ışınlarının ısıtması sonucu genleşmesi, deniz sularının bu ışınlar tarafından buharlaşması, suyu sırasıyla emip sonra dışarıya veren büyük bir anaforun ya da girdabın varlığı ve başka diğerleri.

Çok daha modern çağlarda bile, gelgit dalgalarının doğru bir açıklaması fizik tarihinde önemli bir problemdi. Galilei 1616'da, içinde deniz yatağının eğimi ve rüzgârın oluşturduğu çalkantılar gibi birçok sahte açıklamaları hesaptan düştüğü, gelgit dalgaları hakkında uzun ve ayrıntılı bir yazı yazdı.[25] *Başlıca İki Dünya Sistemi Üzerine Söyleşi*'sinin Dördüncü Günü'nü de gelgit dalgalarına ayırdı. Okyanustaki gelgit dalgalarının, Dünya'nın hareketi için doğrudan kanıt sağladığına inanıyordu.

> Ay'ın altında kalan (ç.n.: dolayısıyla bu dünyaya ait) tüm şeyler içerisinde Dünya'nın harekete ve dinginliğe ilişkin davranışının bir izini ya da belirtisini... yalnızca su elementinde fark edebiliriz.[26]

Kepler, gelgit dalgalarının okyanus sularının Ay tarafından çekilmesi yüzünden olduğunu düşünüyordu. *Astronomia Nova*'sının (*Yeni Gökbilim*) önsözünde şöyle yazdı:

> Kütleçekim, benzer türden cisimler arasında birleşmek ya da bir araya gelmek için karşılıklı bir bedensel yerleşimdir...
>
> . . .
>
> Dünya, sularını kendine doğru çekmeyi durdurursa, bütün deniz suyu yukarı kalkacaktır ve Ay'ın vücuduna doğru akacaktır.
> Ay'daki çekici gücün etki küresi Dünya'ya dek uzanır ve yakıcı (duygusal olarak şiddetli) bölgede, özellikle geçişlerinden birinde ya da ötekisinde tam tepeye geldiğinde, suyu uyandırır ve ortaya çıkarır. Bu kapalı denizlerde algılanamaz, ama okyanus yataklarının en geniş olduğu yerlerde göze çarpar ve suyun ardı sıra ileri geri hareketi için yeterince serbest yer vardır.
>
> . . .
>
> Ay ayrıldığında, suların bu birlikteliği ya da yakıcı bölgeye doğru askeri düzenle ilerleyen ordu, şimdi onu uyandıran bu çekim tarafından terk edildiğinde söner.[27] (ç.n.: bu alıntılar bir hayli edebi sayılabilecek bir dille; duygularla, aşkla benzerlik kurularak yazılmış.)

Bununla birlikte bu, günde yalnızca bir gelgit olayını açıklayabilirdi ve Galilei bunu reddetti.

> Ay'ın özellikle sular üzerinde egemenliği olduğunu söyleyip, gelgit dalgalarını Ay ile ilişkilendiren çok kimse var;... gökte dolaşan Ay, kendisini izleyerek peşinde giden bir su kütlesini kendisine ve yukarıya doğru çeker, böylece yükselen deniz her zaman Ay'ın altında kalan kısımda yer alır. Ve Ay ufkun altında kaldığında, bu yükselme her nasılsa geri döndüğünden, bize bunu açıklayabilecek hiçbir şey söyleyemeyeceğini anlatıyor...
>
> . . .
>
> Lütfen... bize [bu açıklamanın] geri kalan kısmını anlatmayın; [bunu] anlatmakla zaman yitirmenin hiçbir yararı olduğunu düşünmüyorum.[28]

Galilei'nin kanısına göre, bugün merkezkaç kuvveti diye andığımız şey, gelgit dalgalarının ana nedeniydi.

> Sularda algılanan hareketleri açıklamanın ve aynı zamanda onları içinde tutan kabın hareketsizliğini korumanın olanaksız olduğunu kanıtladıktan sonra, kabın hareketinin gereken etkiye oluştuğu gözlemlenen biçimde neden olup olamayacağını incelemeye geçelim.[29]
>
> . . .
>
> Yaşlı dünyamıza atfedilen iki hareket olduğunu daha önceden söylemiştik; ilki merkezi tarafından yörüngesinin çevresi boyunca ekliptiği etrafında burçlar kuşağının burçları sırasında (yani, batıdan doğuya doğru) yapılan yıllık ve diğeri de Dünya'nın kendisi tarafından kendi merkezi çevresinde biraz eğik bir eksen etrafında ve yıllık dönüşüne paralel olmayan, yirmi dört saatte (benzer biçimde batıdan doğuya doğru) dönerek yapılandır.[30]

Galilei burada, Dünya'nın Güneş etrafındaki ve kendi ekseni etrafındaki dönüş hareketlerini ele alıyor. Yirmi dört saatlik bir periyot boyunca, bu hareketler, Dünya yüzeyindeki herhangi bir noktada (diyelim, ekvatorda) (arka plandaki sabit uzaya göre) bir kez birleşerek hız için en fazla değeri oluşturacak ve bir kez de birbirlerine karşı gelerek, hız için en az değere neden olacaklardır. Bununla birlikte, bu mekanizma doğru olsa bile, günde yalnızca bir yüksek ve bir alçak gelgite neden olacaktır:

> Şimdi... başlıca ilkede on iki saatlik bir periyottan bir diğerine hariç (yani, bir kere hareketin en büyük hızı ve bir kere de en büyük yavaşlığı ile) suları hareket ettirmek için bir neden bulunmadığından, suların alçalması ve kabarması periyodunun yine de neden her zaman altı saatlik bir periyottan bir diğerine olur göründüğü sorusunu halledeceğim.[31]

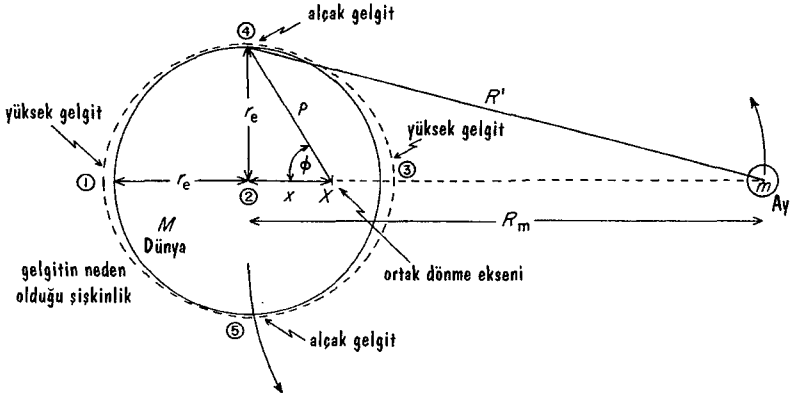
Galilei daha sonra, diğer gelgit dalgasını deniz çanaklarında içerilen geniş su kütlelerinin doğal salınım periyoduyla açıklamaya çalıştı.[32] Bu açıklama niteliksel bir biçimdeydi ve aslında başarılı değildi.

Newton, Ay'ın neden olduğu, okyanustaki gelgit dalgaları olayını açıklamak için kütleçekim kuramını kullanabilmişti.[33] Dünya'nın ekvatoru boyunca kesilmiş bir kanalda içerilen su halkasının hareketini ele alarak, gelgit dalgalarının doğru biçimde anlaşılmasını sağladı. Bunu, önce büyük bir M kütlesi etrafında dolanan küçük bir m' kütlesinin hareketinde yörüngede bulunan bir m cisminin neden olduğu küçük sapmaları inceleyerek yaptı. Bu sonucu daha sonra, ortak bir yörüngede bulunan birçok küçük cisimlere ve en sonunda da, sürekli bir akışkana genişletti.[34] Newton'un gelgit dalgaları kuramı, gözlemlenen önemli etkileri açıklarken, temel olarak 'durağan' bir kuramdı; çünkü suyun kendi dinamiğini göz önüne almıyordu. Bunun sonucu olarak, Ay'ın belirli bir yerin üzerinden geçişiyle o yerde asıl gelgit olayının oluşu arasındaki zaman farkı gibi etkileri, kuramı için bir sorun olarak duruyordu. Gelgit olayı için dinamik bir kuram Laplace'a aitti. Tamamen niceliksel bir gelgit kuramı son derece karmaşıktır ve bugün bile hâlâ canlı bir araştırma alanıdır. Gelgit dalgalarının *Principia*'da bulunan haliyle incelenmesiyle devam etmektense, gelgit olayının daha sezgisel - fakat hâlâ doğrudan *Principia*'da bulunan halleriyle Newton'un yasaları üzerine kurulmuş - bir betimlemesini veriyoruz.

9.5 Dünya–Ay Sistemi ve Gelgitlerin Yarattığı Şişkinlikler

Gelgit dalgalarına neden olan kuvvetlerin kökenini, Dünya yüzeyinin tam üzerindeki değişik yerlerde bir cismin hissedeceği ivmeyi

ele alarak temel ve yarı niceliksel bir biçimde anlayabiliriz. İki küre, birbirlerini merkezlerini birleştiren ortak doğru boyunca etki eden kuvvetlerle çekerler. Dolayısıyla, her biri bir çember üzerinde hareket eden iki küre, bu doğru üzerinde bulunan sabit bir nokta etrafında dönerler. Bunu görmek, dairesel yörüngelerinin bu sabit merkezinin kürelerin merkezlerinin tam ortasında olduğu iki eşit kütle durumunda özellikle kolaydır. Kütlelerden biri büyüdükçe, dönüş merkezi, daha büyük kütleye doğru kayar ve bunun dairesel yörüngesinin yarıçapı azalır. Her bir kütle kendi dairesinde hareket eder ve her iki dairenin de merkezleri aynı sabit noktadadır. Şekil 9.7 ortak bir merkez (X) etrafında dönen Dünya–Ay sistemini gösteriyor. (Dünya'nm kutupları arasındaki kuzey–güney ekseninin, sayfanın düzlemine dik olduğunu ve Şekil 9.7'nin 2 diye işaretlenmiş noktasından geçtiğinin farkında olunuz. Dünya, günlük dönme hareketini de bu KG ekseni etrafında yapmaktadır.) Dönme ekseni sayfanın düzlemine diktir ve X noktasından geçer. Bu sistemi, ortak merkez etrafında döndürmeye devam ettirmek için gereken merkezcil kuvvet, M ve m arasındaki karşılıklı kütleçekimce sağlanır. Bu iki cisim arasındaki karşılıklı çekim kuvveti her zaman onları birleştiren doğru boyunca etki ettiğinden ve bu doğru ortak dönme merkezinden (Şekil 9.7'deki X noktasından) geçtiğinden, hem Dünya'nın hem de Ay'ın ω açısal hızı aynı olmalıdır.



Şekil 9.7 Dünya–Ay sistemindeki gelgitler

Kararlı dairesel yörüngeler için gereken koşul şudur:

$$F_c = \frac{GMm}{R_m^2} = M\omega^2 x = m\omega^2 (R_m - x) \tag{9.9}$$

Burada x, Dünya'nın merkezinden X noktasına olan uzaklık ve R_m de Dünya'nın merkezinden Ay'ın merkezine olan uzaklıktır. Bu denklemi Dünya-Ay sistemi durumunda x için çözersek, $x = 0{,}726\, r_e$ buluruz.[35] Bu ortak dönme merkezi, Dünya'nın içindedir (fakat, tabii ki, geometrik merkezinde değildir). Dünya'nın merkezinden bu noktaya olan uzaklık 3000 mil'den [4,8 x 10^3 km] biraz daha azdır.

Şimdi Dünya'nın yukarısında Şekil 9.7'deki 1 konumuna yerleştirilmiş küçük bir m_0 kütlesinin ağırlığını bulalım. Şekil 9.8'de gösterilen üç kuvvet, gereken X'e doğru merkezcil kuvveti sağlar.

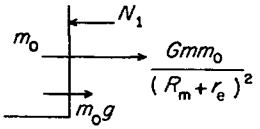
$$F_c = m_0 g + \frac{Gmm_0}{(R_m + r_e)^2} - N_1 = m_0 (x + r_e)\omega^2 \tag{9.10}$$

Burada N_1 bir terazinin ya da, diyelim, terazi gözünün m_0 üzerindeki tepkisidir. N_1, m_0'ın 1 konumunda kaydedilen ağırlığıdır. Bu denklemi N_1 için çözebiliriz, ters kare terimini (r_e/R_m)'in birinci kuvvetinde açmak için $(r_e/R_m) \cong 1/60$ olduğu gerçeğini kullanabiliriz ve son olarak (9.9) denklemini kullanarak

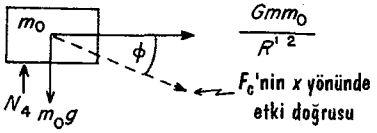
$$N_1 \cong m_0 \left(g - \omega^2 r_e - \frac{2\,Gm}{R_m^3} r_e \right) \tag{9.11}$$

elde edebiliriz. Şekil 9.7'de 3 konumundaki benzer bir hesaplama ((r_e/R_m)'in birinci kuvvetinde) aynı sonucu verir, ki böylece $N_1 \cong N_3$ olur. Şekil 9.7'de 4 noktasında Ay'dan kaynaklanan (R' doğrultusunda etki eden) kütleçekim $R' \cong R_m$ olduğundan hemen hemen R_m'e paralel olacaktır. Şekil 9.9'da m_0'a orada etki eden kuvvetleri gösteriyoruz. F_c merkezcil kuvveti, doğrudan doğruya X'e doğru yönelmek zorunda olduğundan, 9.7 ve 9.9 şekillerinin geometrisinden

$$N_4 \cong m_0 (g - \omega^2 r_e) \tag{9.12}$$



Şekil 9.8 Dünya'nın yüzeyindeki bir cisme etki eden aynı doğrultudaki kuvvetler



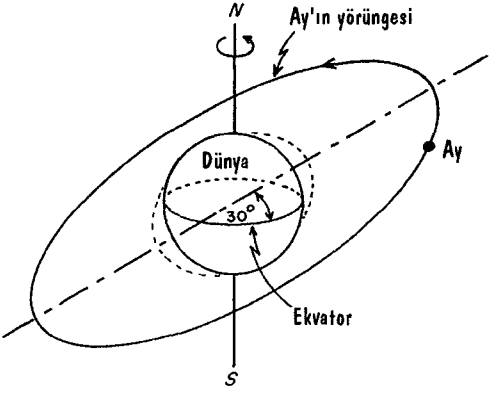
Şekil 9.9 Dünya'nın yüzeyindeki bir cisme etki eden farklı doğrultudaki kuvvetler

sonucunu çıkarırız.[36] Ayrıca, 4 ve 5 noktalarının 2 noktasına göre simetrisinden bekleyebileceğimiz gibi, $N_4 \cong N_5$ buluruz.

Bütün bunlardan hangi sonucu çıkarırız? Bir cismin Şekil 9.7'de 1 ve 3 noktalarındaki görünen ağırlıkları eşittir, ama her biri aynı cismin 4 ya da 5'teki görünen ağırlığından daha azdır. Bir su tabakasıyla kaplı katı bir küresel dünya hayal edersek, 4'teki (ya da 5'teki) bir kilogram su, 1'deki (ya da 3'teki) bir kilogram sudan daha ağır gelecektir. Bu demektir ki, su basıncı (esas olarak bir akışkanın çevresine uyguladığı kuvvet) 4'te 1'dekinden daha büyük olacaktır. Su (basıncın daha yüksek olduğu) 4 ve 5 bölgelerinden 1 ve 3 bölgelerine doğru basınç dengesini sağlamak için yeterince yüksek bir su seviyesi birikene dek akacaktır. Böylece Dünya'nın doğrudan doğruya Ay'ın altında ve Dünya'nm tam ters tarafında kalan bölgesinde gelgitlerin neden olduğu (neredeyse eşit yükseklikte) şişkinlikler oluşacağını anlayabiliriz. Dünya (Şekil 9.7'de sayfanın düzlemine dik olan) kendi kuzey-güney ekseni etrafında değil, yalnızca X ortak merkezi etrafında dönseydi, gelgitlerin yarattığı bu iki şişkinlik, Dünya'nm üzerinde aynı yerlerde her zaman sabit kalırdı. Oysa aslında Dünya, bu şişkinliklerin içinden geçerek dönmektedir; ya da buna denk biçimde, bu şişkinlikler Dünya'nın yüzeyine göre hareket

etmektedirler. Bu şişkinliklerden biri kıyı şeridine geldiği zaman, şişkinlikteki su yüksek gelgit olarak karaya yayılır. Bir bakıma su uzayda 'asılı kalırken' Dünya onun 'içinden' döner.

Şekil 9.7'de Dünya-Ay sistemini, Ay'ın yörüngesinin düzlemi Dünya'nın ekvatorunun düzlemindeymiş gibi çizdik. Aslında Ay'ın yörüngesi ekvatora göre yaklaşık 30° eğiktir. Dolayısıyla durum Şekil 9.10'da resmedilene daha çok benzemektedir. Dünya'nın her iki tarafında gelgitlerden kaynaklanan şişkinlikler, neredeyse doğrudan doğruya Ay'ın 'altında' kaldığından, Dünya'nın yüzeyindeki herhangi bir sabit noktanın yirmi dört saatlik bir periyot içinde gördüğü iki yüksek şişkinlik eşit olmayan yüksekliklerde olacaktır. Böylece ekvatoral gelgit dalgaları oluşur.[37]



Şekil 9.10 Ay'ın yörüngesinin eğikliği

9.A Newton'un ve Young'ın Dalga Girişimi Üzerine Düşünceleri

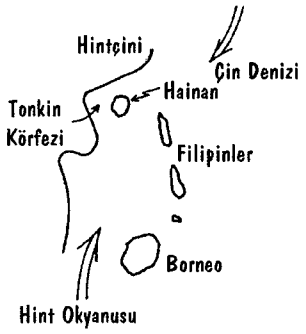
Newton, *Principia*'sında, gelgit dalgalarının belirli körfezlerdeki etkilerini girişim etkileri cinsinden ele aldı.

> Dahası gelgit dalgası, okyanustan aynı limana doğru değişik kanallardan yayılıyor ve bazı kanallardan diğerlerine göre daha hızlı geçiyor olabilir;

bu durumda, biri diğerini izleyen iki ya da daha fazla parçaya bölünen aynı gelgit dalgası değişik türde yeni hareketler katabilir. Değişik yerlerden aynı limana doğru akan, biri diğerinden altı saat önde yer alan iki eşit gelgit dalgası varsayalım;... Değişimli olarak her altı saatte bir eşit seller taşacaktır, ki bunlar aynı sayıda eşit su alçalmasıyla karşılaşarak, birbirlerini öyle dengeleyeceklerdir ki, o gün için su durgunlaşacak ve sakin olacaktır. Ay bundan sonra ekvatordan batarsa [Şekil 9.10'u ve onu izleyen tartışmayı hatırlayınız], okyanustaki gelgitler değişimli olarak daha büyük ve daha küçük olur;... ve ... daha büyük iki ve daha küçük iki gelgit dalgası değişimli olarak limana doğru yayılacaktır. Fakat daha büyük iki taşkın suların en büyük yüksekliğinin ikisi arasındaki ara zamanda düşmesine neden olacaktır ve daha büyük ve daha küçük taşkınlar, suların aralarındaki ara zamanda ortalama bir yüksekliğe yükselmesini sağlayacaktır ve daha küçük iki taşkın arasındaki ara zamanda sular en küçük yüksekliklerine ulaşacaktır. Böylece yirmi dört saatlik süre içerisinde, sular her zaman olduğu gibi, iki kez değil ama yalnızca bir kere en büyük ve yalnızca bir kere en küçük yüksekliklerine ulaşacaktır;... Dr. *Halley* bunun bir örneğini *Tunquin* krallığında [(ç.n.: Vietnam'daki) Tonkin Körfezi], 20° 50′ kuzey enlemindeki *Batshaw* limanındaki denizcilerin gözlemlerinden verdi. Bu limanda... [sular] diğer limanlarda olduğu gibi günde iki kez değil, yalnızca bir kez yükselir ve alçalırlar.... Bu limanın iki tane ağzı ve biri kıtayla *Leuconia* adası [Filipinler][38] arasında *Çin Denizi*'nden, diğeri de kıtayla *Borneo* adası arasında *Hint Denizi*'nden olan iki tane komşu kanalı [Şekil 9.11] vardır. Fakat aslında biri on iki saatlik süre zarfında *Hint Denizi*'nden ve biri de altı saatlik süre zarfında *Çin Denizi*'nden olmak üzere, belirtilen kanallardan yayılan iki gelgit mi olduğu, ki dolayısıyla Ay'a göre üçüncü ve dokuzuncu saatlerde bir araya eklenerek mi bu hareketleri oluşturdukları; yoksa iki gelgitin o denizlerin durumundaki başka koşullardan mı ileri geldiğinin belirlenmesini, komşu kıyılarda yapılacak gözlemlere bırakıyorum.[39]

Newton daha az matematiksel olan *Dünya'nın Düzeni*'nde, olayın yukarıdaki alıntının son iki cümlesinin aşağıdakilerle değiştirilmesi dışında, aslında aynı tartışmasını verdi.

Bu limana okyanustan iki giriş vardır: Biri *Hainan* Adası ile *Çin*'in bir eyaleti olan *Quantung* kıyısı arasında daha düz ve kısa olanı, diğeri de aynı adayla *Cochim* kıyısı arasındaki dolambaçlı olanı ve daha kısa olan geçitte gelgit *Batshaw*'a doğru daha hızlı yayılır.[40]

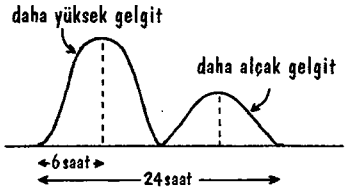


Şekil 9.11 Tonkin Körfezi'ndeki gelgitler

Newton'un ilk açıklaması, etkinin farklı okyanuslardan (Çin Denizi ve Hint Okyanusu) gelen iki gelgitin sonucu olduğunu belirtiyor gibi gözüküyor ve ikinci betimleme etkiyi Tonkin Körfezi'ne ulaşmak için, bir kez kısa yoldan ve bir kez de daha uzun yoldan, Hainan Adası etrafında dolanmak zorunda olan bir gelgite bağlıyor. Yine de Newton, her iki durumda da iki farklı dalga karşı karşıya geldiğinde oluşan yapıcı ve yıkıcı girişimi ele alıyor.

Birbirlerinden altı saat arayla olan bu iki gelgitin, neden hiçbir gelgitsel etkiye neden olmamak üzere her zaman birbirlerini tamamen dengelemediklerini anlayabilmek için, tek bir gelgit için yüksek ve alçak gelgitin eşit genlikte olmadıklarını görmek gerekir (Şekil 9.12'ye bakınız). Ay'ın doğrudan doğruya ekvatorun üzerinde olması dışında, tek dalga profili Şekil 9.12'de belirtildiği gibi olacaktır. Birbirinden altı saat arayla olan bu desenlerin ikisi, Şekil 9.13'te gösterildiği gibi, birbirlerinin üzerine bindirilirlerse, birleşim gelgiti her 24 saatlik periyotta bir yüksek ve bir de alçak noktaya sahip olacaktır.

Thomas Young (1773-1829), 1802'de ışığın belirli girişim etkilerinin su dalgalarıyla olan bir benzerlikle açıklanabileceğini keşfetti. Su dalgalarının bu girişim etkisinin Newton tarafından neden bazı körfezlerde 24 saatlik bir periyotta iki yerine yalnızca bir gelgitin yaşandığını açıklamak için *Principia*'da kullanıldığını az önce gördük. Young'ın kendisi de, Newton'un özgün fikrine çok benzeyen bir benzerlik kullandı.



Şekil 9.12 İki kanal için gelgit profilleri



Şekil 9.13 Gelgit profillerinin üst üste bindirilmesi

Birtakım eşit su dalgasının, durgun bir gölün yüzeyinde belirli bir sabit hızda ilerlediklerini ve gölden dışarıya doğru giden dar bir kanala girdiklerini varsayın. Sonra bir diğer benzer nedenin aynı kanala ilkiyle aynı hızla ve aynı anda ulaşan bir başka eşit dalga dizisi oluşturduğunu varsayın. Dalga dizilerinin ikisi de diğerini yok edemeyecektir; ancak sonuçları birleşecektir: Eğer kanala, dizilerden birinin yükseltileri diğerininkilerle rastlaşacak bir şekilde girerlerse, ikisi birlikte bir dizi daha büyük ortak yükseltiler oluşturmalıdır; fakat dizilerden birinin yükseltileri diğerinin çöküntülerine karşı gelecek şekilde bulunurlarsa, bu çöküntüleri tam olarak doldurmalıdırlar ve suyun yüzeyi düzgün kalmalıdır.

Şimdi ışığın iki parçası böyle karıştıklarında benzer sonuçların oluştuğunu iddia ediyorum ve buna ışığın girişimi genel yasası diyorum.

. . .

Aynı ışığın iki parçası göze farklı yollardan, ya tam olarak ya da neredeyse aynı yönde ulaşırsa, ışık, yollar arasındaki fark belirli bir uzunluğun herhangi bir katı olduğunda en çok şiddetli ve girişen parçaların ara durumunda da en az şiddetli duruma gelir ve bu uzunluk, değişik renklerdeki ışık için farklıdır.[41]

Yararlı Kaynaklar

James Cushing'in 'Kepler'in Yasaları ve Newton'un *Principia*'sındaki Evrensel Kütleçekim'i, günümüzdeki temel gösterimle Newton'un Kepler'in yasaları için geometrik akıl yürütmelerini (bu konunun 9.1 ve 9.2 kısımlarının tarzında) sunarken, J. Bruce Brackenridge'in *Newton'un Dinamiğinin Anahtarı* ve Dana Densmore'un *Newton'un Principia*'sı, *Principia*'daki bu önermelerin ayrıntılı açıklamasını ve çözümlemesini verir. Bu son derece ilginç gelgit dalgaları ve tarihi konularının çeşitli yönlerinin herkesçe anlaşılabilir açıklamaları, Robert Ball'un *Zaman ve Gelgit*'inde (ç.n.: İngilizcesi 'Time and Tide'), George Darwin'in *Gelgit Dalgaları ve Güneş Sistemi'ndeki Aynı Türden Olaylar*'ında, Albert Defant'ın *Gel, Git ve Su*'yunda, Peter Goldreich'ın 'Gelgit Dalgaları ve Dünya–Ay Sistemi'nde, Paul Melchior'un *Dünya Gelgitleri*'nde ve Francis Wylie'nin *Gelgit Dalgaları ve Ay'ın Çekimi*'nde bulunabilir.

Bölüm IV

Bir bakış açısı

İnsan'ın, başından öngöremedikleri bir sonucu başarmış olan "nedenler"in ürünü olduğu; kökeninin, büyümesinin, umutlarının ve korkularının, aşklarının ve inançlarının, atomların kazara bir araya gelmelerinin sonucundan başka bir şey olmadığı; hiçbir ateşin, hiçbir kahramanlığın, hiçbir düşünce ve duygu yoğunluğunun tek bir yaşamı mezardan öteye saklayamayacağı; çağların bütün emeklerinin, bütün sadakatinin, bütün esininin, insan dehasının bütün göz kamaştırıcı parlaklığının Güneş Sistemi'nin engin ölümünde yok olmaya mahkum olduğu ve İnsan'ın başarılarının simgesi olan tapınağın bütününün, harap bir evrenin yıkıntıları arasında kaçınılmaz olarak gömüleceği - bütün bu şeyler, tamamen tartışma götürmemenin dışında olmasalar da, yine de neredeyse o kadar kesindirler ki, bunları reddeden hiçbir felsefe geçerli kalmayı umut edemez. Yalnızca bu gerçeklerin oluşturduğu yapı iskelesinin içinde, yalnızca boyun eğmeyen ümitsizliğin sağlam temelleri üzerinde, ruhun doğal yaşam alanı, bundan sonra güvenli bir biçimde inşa edilebilir.

İnsan gibi böylesine güçsüz bir yaratık, bu kadar yabancı ve merhametsiz bir dünyada, büyük amaçlarını nasıl karartmadan saklayabilir? Her şeye gücü yeten, ama kör Doğa'nın, uzayın uçsuz bucaksız derinliklerindeki dünyevi koşuşturmacalarının devirlerinde, en sonunda hâlâ onun gücüne tabi, ama görme yetisiyle, iyinin ve kötünün bilgisiyle, düşüncesiz anasının, tüm emeklerini yargılama yeteneğiyle bahşedilmiş bir çocuk doğurması ne garip bir gizemdir. Ana-baba kontrolünün damgası ve izi olan Ölüm'e rağmen İnsan, kısa yılları boyunca yine de araştırmakta, eleştirmekte, bilmekte ve yaratmak için hayal gücünde özgürdür. Bu özgürlük, tanıdığı dünyada yalnızca ona aittir ve dışarıdaki hayatını kontrol eden amansız kuvvetlere karşı üstünlüğü burada yatar.

Bertrand Russell, *Özgür Bir Adamın İbadeti*

10

Galilei'nin *Büyük Düşes'e Mektup*'u

Bu konuda, insana kendisiyle çevresinin bütünleşmiş bir resmini sunan Aristocu dünya görüşünün egemenliğinin yıkılışı sırasında meydana gelen dramatik çatışmalardan birini inceleyeceğiz. Bu, Galilei olayında entelektüel özgürlüğe karşı kurumsal otorite sorunuyla ümitsizce iç içe girmişti. Bununla birlikte, konuyla ilgili başka etkenler de vardı: Galilei'yle ona karşı çıkanların kişilikleri ve olasılıkla o zamanlarda sanatçılara ve bilim adamlarına destek için kullanılan himaye sisteminin sosyal yapısı.

10.1 Arka Plan

Galilei'yle Kilise yetkililerinin doğrudan doğruya karşı karşıya gelmesinden önce olan önemli olaylardan bazılarını sıralayarak başlamamız belki de okuyucuya yardım edecektir.[1]

1 Mart 1610 - Galilei teleskopla yaptığı gözlemleri ve keşifleri anlattığı *Sidereus Nuncius* (*Yıldızlı Haberci*) adlı çalışmasını yayınladı. Gökyüzünde, daha önce düşünülenden çok daha fazla sayıda yıldız olduğunu, Ay'ın yüzeyinin Dünya'nın kendi yüzeyine benzer biçimde dağlar, düzlükler ve vadiler içerdiğini ve engebeli olduğunu; Kopernik sisteminde, gezegenlerin Güneş etrafında dönmesine çok benzer bir biçimde, Jüpiter'in,

merkezi gezegen etrafında dönen bir takım ayları olduğunu gösterdi. Bu eser büyük bir rağbet gördü ve geniş kitleleri etkiledi.

2 Aralık 1613 - Galilei bilim öğrencilerinden birine, Benedict rahibi Benedetto Castelli'ye (1578-1643), bilimle din arasındaki ilişki hakkında kendi görüşleriyle ilgili bir mektup yazdı.

3 Aralık 1614 - Bir Dominik keşişi olan Papaz Thomas Caccini (1574-1648), Galilei'yi, Kopernik sisteminin İncil'in öğretisiyle tamamen zıt olmadığı konusundaki görüşlerinden dolayı alenen suçladı.

4 Şubat 1615 - Galilei'nin Castelli'ye yolladığı mektubun bir kopyası, Galilei'yi destekleyenlerin görüşlerinin kınandığı bir belgeyle birlikte, Roma'daki Papalık Mercii'ne yollandı. Daha sonra, aynı yıl içinde, Galilei *Büyük Düşes'e Mektup*'unu tamamladı. Bu o zaman yayınlanmadığı halde, sonrasında geniş kesimlere yayılmıştı.

5 Aralık 1615 - Galilei, Kopernik sistemi hakkındaki görüşlerini savunmak için Roma'ya gitti.

6 Şubat 1616 - Galilei, Cizvit Robert Kardinal Bellarmine (1542-1621) ile yaptığı görüşmede, bu sırada yanlış olduğu ilan edilen Kopernik kuramını desteklemekten resmen men edildi.

7 Mart 1616 - Dizin Topluluğu, uygun düzeltmeler yapılıncaya dek, Kopernik'in *De Revolutionibus*'unun yayınlanmasını yasakladı.

8 Ekim 1623 - Galilei, kuyrukluyıldızların kökeni hakkındaki görüşlerini eleştiren Cizvit gökbilimcilere yanıt verdiği *Il Saggiatore* (*Değerlendiren*) (ç.n. ayrıntılı inceleyip yargı oluşturan) adlı çalışmasını yayınladı. Galilei'nin kuyrukluyıldızlar üzerine olan hipotezinin doğru olmadığı sonradan kanıtlanacaksa da, bu eser Galilei'nin bilim felsefesi üzerine olan en önemli fikirlerinden bazılarını sunuyordu.

9 Şubat 1632 - Galilei'nin *Başlıca İki Dünya Sistemi Üzerine Söyleşi*'si yayınlandı. Galilei bunda, evrenin hem Ptolemaios hem

de Kopernik modellerini sundu. Kopernik kuramını hiçbir yerde açıkça desteklemediği halde, verilen akıl yürütmeler öyledir ki; akıllı herhangi bir okuyucu, Galilei'nin bu kuramı doğru olarak kabul ettiğini kolaylıkla görebilir.

10 Ağustos 1632 - Papalık Mercii, *Söyleşi*'nin satışlarının durdurulmasını emretti.

11 Ekim 1632 - Galilei'ye, yargılanmak üzere, Roma'ya gelmesi emredildi.

12 Haziran 1633 - Galilei suçlu bulundu, yeminle daha önce dediklerini reddettiğini belirten belgeyi okudu ve belirsiz bir süre için villasında ev hapsine mahkum edildi.

Yaklaşmakta olan tehlikenin belirtileri, en azından geçmişe bakılınca, 1611 ya da 1612'de Galilei'nin öğretilerinin başarısıyla dehşete düşen Aristocu dünya görüşünün belirli savunucuları, ona karşı yayınlarla saldırmaya başladığında çoktan görülebiliyor. Bu saldırılar, çalışmalarının somut olarak yanlışlığının kanıtlanmasından ziyade, vardığı sonuçların (kendi kanılarına göre) çok uzun zamandan beri Aristo ve İncil hakkında inanılan görüşlerle çeliştiğini öne süren, ona karşı büyük oranda kişisel saldırılardı. Bu düşmanlardan bazıları eğitimli ve etkili insanlardı, ancak bunların çalışmaları Galilei'ye göre, ondan doğrudan doğruya bir yanıt almayı hak edecek değil, onları daha da küçük düşürmek için Galilei'nin öğrencilerinden biri tarafından yanıtlanabilecek değerdeydi. Galilei, böylesi durumları savunmamayı bilmeye yetecek kadar eğitimli olan eleştiricileri, tipik olarak acımasızca ve sert bir biçimde yanıtladı. Keskin dili ve zehirli kalemi ona ün kazandırdı, ama sık sık da, zaten kötü olan durumu daha da kötüleştirdi.

Bu konunun başlığında sözü edilen *Mektup*'a, 1613 yılının aralık ayında, Tuscan Sarayı soylularının kışı geçirmekte olduğu Pisa'da, Büyük Dük Cosimo II tarafından verilen bir yemekte yapılan bir söyleşi vesile oldu. Yemeğe katılanlar arasında bir rahip ve Galilei'nin parlak bir öğrencisi olan Benedetto Castelli de vardı. Pisa Üniversitesi matematik bölüm başkanlığına yeni atanmış olan Castelli, orada

Jüpiter'in uydularını ve Galilei'nin Kopernik'in evren kuramının Ptolemaios'unkinin aksine doğru olduğu yönündeki görüşlerini tartışıyordu. Diğer konuklardan birisi de, Pisa Üniversitesi'nde felsefe profesörü olan ateşli bir Aristocuydu. Bu akademisyen, Galilei'nin, Dünya'nın hareketi hakkındaki öğretilerinin Kutsal Kitap'la çeliştiğini öne sürüyordu. Dul Büyük Düşes Lorraineli Christina (1565-1636) da oradaydı ve Castelli de Galilei'nin fikirlerini savunduğu halde, bu olasılık karşısında bir hayli tedirgin olmuş görünüyordu. Bundan birkaç gün sonra, Castelli bu olan bitenler hakkında Galilei'ye bir mektup yazdı. Galilei, aynı yılın aralık ayının sonlarında Castelli'ye, herhalde bir yandan da Büyük Düşes'in korkularını yatıştırmak için, bilimsel araştırmaya karşı dini inançlar sorunu üzerine uzun bir mektupla yanıt verdi.

> Kimsenin Kutsal Kitap'tan bölümleri, bunları doğa hakkında doğru sonuçlara varılmışçasına, ki sonradan bunların tam tersi duyularımızın tanıklığıyla ya da kaçınılmaz gösterimlerle ortaya çıkabilir, desteklemek için zorlayarak kullanmasına izin vermemek, bilgeliğin daha iyi görevi olurdu diye düşünüyorum. Kim insanoğlunun anlamasına sınır koyabilir ki? Kim bizi dünyada bilinebilecek her şeyin çoktan bilindiğine inandırabilir ki?[2]

Galilei daha sonrasında da bu konuyu ayrıntılarıyla inceledi ve en sonunda 1615'te *Büyük Düşes Christina'ya Mektup*'unun son halini yazdı. 1614 yılının aralık ayında, Papaz Caccini, Galilei'yi ve Kopernik sistemini dine karşı ve devlet için tehlikeli olmakla suçladı. Bu herkesin önünde yapıldığı için, Galilei suçlamaların yanıtlanması gerektiğini düşündü. Arkadaşlarının aksi yöndeki salıklarına karşın, Galilei onu eleştirenlerle savaşmaya karar verdi.

Galilei'nin rakiplerinin, en sonunda 1633'te Engizisyon tarafından mahkum edilmesinde son derece önemli olduğu ortaya çıkacak olan, resmi yollara başvurmaları 1616 yılındadır. Bunların arasında, Dizin Topluluğu tarafından alınan Kopernik'in *De Revolutionibus*'unun yayınlanmasını geçici olarak durduran ve Dünya'nın hareketi hakkındaki herhangi bir öğretinin yanlış, İncil'e aykırı ve Katolikliğe de bir tehdit olduğunu belirten bir karar vardı. Görünüşte

savaş Galilei'nin benimsediği Kopernik sistemi hakkındaydı, ama Galilei'nin da farkında olduğu gibi, esas sorun Kutsal Kitap'ın anlamına karar verecek ölçütleri tanımlamaya kimin yetkili olduğu ve daha geniş olarak da (bilimsel araştırmanın özgürlüğü gibi) entelektüel özgürlüğe karşı otorite sorunuydu.

Şimdi ünlü yargılamaya giden yolda oluşan birkaç önemli karşılaşmanın bazı ayrıntılarına bakalım.

10.2 Temel Bir Sorun

Bellarmine, 1615 yılının nisan ayında, Kopernik sistemi ve Galilei'nin öğretileri hakkında kendi görüşlerini açıkladığı bir mektup yazdı. Mektup, Kopernik sisteminin Kutsal Kitap'la çeliştiği suçlamalarına karşı, onu savunan bir kitap yazmış bir Carmel rahibi olan Paolo Foscarini'ye (1580-1616) yollanmıştı.

> Zatı Âlinizin ve Sinyor Galilei'nin, Kopernik'in de yaptığına her zaman inandığım gibi, varsayımlara dayanarak konuşarak ve kesin ifadelerden kaçınarak kendinizi doyurmanızın, bana öngörülü davrandınız gibi göründüğünü söylüyorum. Çünkü, Dünya'nın hareket ettiğini ve Güneş'in durduğunu varsaymak, hâlâ görünüşte olan her şeyi dışmerkezlilerden ve ilmeklerden daha iyi açıklıyor demek, iyi konuşmaktır. Bunun içinde hiç tehlike yok ve matematikçiler için de yeterli. Ancak Güneş'in gerçekten de gökyüzünün merkezinde sabit olduğunu ve yalnızca doğudan batıya doğru gitmeden kendi etrafında döndüğünü ve Dünya'nın da üçüncü kürenin ardında yer aldığını ve Güneş'in etrafında çok hızlı döndüğünü doğrulamayı dilemek, yalnızca tüm din bilginlerini ve skolastik düşünürleri kızdırmakla değil, aynı zamanda kutsal inancımızı yaralamakla ve Kutsal Kitap'ı yanlış yapmakla da çok tehlikeli bir şeydir.
>
> . . .
>
> Güneş'in evrenin merkezinde ve Dünya'nın da üçüncü kürede olduğunu ve Güneş'in Dünya'nın etrafında değil, Dünya'nın Güneş'in etrafında döndüğünü gösteren gerçek bir gösterim olsaydı, o zaman bunun tersi gibi görünen Kutsal Kitap'ı anlatmak için dikkatlice iyice düşünmek

gerekirdi ve kanıtlanmış bir şeyin yanlış olduğunu söylemektense, O'nu anlamadığımızı söylemek zorunda kalırdık diyorum.

. . .

Ve bana Süleyman'ın görünüşlere göre konuştuğunu ve tıpkı gemide bir kişiye kumsalın uzaklaşıyormuş görünmesi gibi, Dünya dönerken de bize Güneş'in onun etrafında dönüyor gibi gözüktüğünü söylersen, ben de böyle yanıt vereceğim. Kumsaldan ayrılan her kişi uzaklaşır, yine de bunun bir hata olduğunu bilir ve kumsalın değil geminin hareket ettiğini görerek bunu düzeltir; ama Güneş'e ve Dünya'ya gelince, hiçbir bilge, Dünya'nın hareketsiz durduğunu açıkça tecrübe ettiği ve tıpkı gözü Ay'ın ve yıldızların hareket ettiği değerlendirmesinde bulunduğunda aldanmadığı gibi, benzer şekilde Güneş'in hareket ettiği değerlendirmesinde bulunduğunda da aldanmadığı için, hatayı düzeltme gereksinimi duymadı. Ve bu şimdilik yeterlidir.[3]

Galilei aynı yılın mayıs ayında Bellarmine'e bir mektup yazdı.

Bana göre Kopernik'in konumunun Kutsal Kitap'a aykırı olmadığını kanıtlamanın en emin ve en hızlı yolu, doğru olduğuna ve aksinin de hiçbir şekilde savunulamayacağına dair çok sayıda kanıtlar vermektir; böylece, iki gerçek asla birbiriyle çelişemeyeceğinden, bu ve İncil mükemmel bir biçimde uyum içinde olmalıdırlar. Fakat ikna edilmesi gereken o Aristocular (ç.n. İngilizce 'Peripatetics', Aristo'nun antik Atina'da Lyceum'da yaptığı gibi yürüyerek felsefe yapanlar) en yalın ve en kolay akıl yürütmeleri bile izleyemez olduklarını gösterirler ve diğer taraftan da, değersiz önermelere çok büyük değer veriyor gözükürlerken, zamanımı yalnızca boşa harcamadan bunu nasıl yapabilirim?

. . .

Büyük adamların, Kopernik'in konumunu yalnızca aslında doğru olmayan gökbilimsel bir hipotez olarak desteklediğimi düşünmelerini istemem. Beni öğretisine en fazla bağımlı hale gelmişlerden biri olarak alıp, diğer izleyenlerin tümünün de anlaşmaları gerektiğine inanacaklardır ve bunun fiziksel olarak doğru olmaktan ziyade, hatalı olması çok daha olasıdır. Bu, eğer yanılmıyorsam, bir hata olacaktır.[4]

Burada, gelişimi uzun bir geçmişe dayanan önemli bir konu ortaya konuyor. Bellarmine, mektubunda, Kopernik'in modelinin

Ptolemaios'unkine göre 'görünüşte olan her şeyi daha iyi açıkladığını' ve Galilei de insanların 'Kopernik'in konumunu yalnızca aslında doğru olmayan gökbilimsel bir hipotez' olarak desteklediğini düşünmelerini istemediğini söylüyor. Bunda, fiziksel dünyanın tanımlanmasına ilişkin resmiyetçi ve gerçekçi yaklaşımlar arasındaki temel gerilim var. Bir kuramdaki kavramlar, aslında fiziksel gerçeklikte var olan varlıkları mı temsil eder, yoksa bunlar yalnızca tek işlevi bize kısa ve öz bir tanımlama vermek ve hesaplamalar yapmamızı sağlayan bir yol göstermek olan matematiksel yapılar mıdır? Kısım 4.7'de Platon'un, gökbilimin doğru amacı hakkındaki düşüncesinin bir açıklamasının, dairesel hareketlerin gezegenlerin gökyüzündeki hareketleriyle sunulan görünüşleri kurtarmak için kullanılmaları gerektiği olduğunu gördük. Gökbilim, bir kere uygun bir geometrik yapı bulduktan sonra, işi tamamlanmış oluyordu. Dairelerin ve ilmeklerin gerçekten de gökteki cisimlerin yörüngeleri olup olmadığını sormak uygun değildi.

Ptolemaios ve Kopernik'e kadar birçok gökbilimci bu Platoncu gelenek içinde çalıştı. Ptolemaios, devirler ve ilmeklerden oluşan sistemini özetledikten sonra, *Almagest*'inde şöyle der:

> Yöntemlerimizin zorluklarını gören hiç kimse bu tür hipotezleri zahmetli bulmasın. Çünkü ne insani şeyleri ilahi şeylere uygulamak, ne de böyle benzemez örneklerden böylesi büyük şeylerle ilgili inançlar çıkarmak doğrudur. Çünkü hiçbir zaman birbirine benzer olmamış olanlara göre, her zaman birbirine benzemiş olanlar kadar ve herhangi bir şey tarafından engellenebilenlerle, kendileri tarafından bile engellenemeyenler kadar farklı ne vardır? Fakat daha basit hipotezleri denemek ve gökteki hareketlere mümkün olduğunca uydurmak ve bu başarılı olmazsa olası her hipotezi denemek uygundur. Bir kere tüm görünüşler hipotezlerin sonuçlarınca kurtarıldıktan sonra, gökteki cisimlerin hareketlerinde böylesi karmaşıklıkların ortaya çıkması neden garip görünsün ki?[5]

Ptolemaios, burada iki önemli noktaya işaret ediyor. İlk olarak, bu alıntının son iki cümlesinde, gökbilimin, görünüşleri kurtarmak için en basit hipotezler kümesini kullanması gerektiğini buluyoruz. Model, gözlemlerce gerektiğinde daha da karmaşık hale, ama yalnızca var olan verilere uyması için gerektiği kadar, getirilebilir. İkincisi

ve o zamanlarda hüküm süren entelektüel iklim için çok önemli olarak, bize insan aklını ve yozlaşabilen bir dünya üzerinde keşfedilmiş yasaları kullanarak, başka bir gerçeklikte olan bir şeyi, yani gökteki cisimlerin değişen hareketlerini açıklama girişiminde bulunduğumuz için, ortaya çıkan modelin çok karmaşık göründüğü gerçeğiyle ilgilenmemiz gerektiğini söylüyor. Bu, Orta Çağlardan sonra bile ayakta kalmış, geniş kabul gören bir inançtı; bir yasalar kümesi gökleri ve bir başkası da dünyayı yönetir. İlkini ikincisi cinsinden anlamayı beklemek aptalca olurdu.

Gökte de dünyadakilerle aynı fiziksel yasaların geçerli olduğuna inanan ilk düşünürlerden biri, gezegenler için katı dairesel hareketi yadsıyan bir bilgin ve kilise adamı olan Cusalı Nicholas'tır (1401-1464). Gerçekçi ekolun kökleri Aristo'ya kadar geriye uzanır ve daha sonraki evriminin izi, Simplicius'un, Cusa'nın, Kopernik'in, Brahe'nin, Kepler'in ve Galilei'nin yazdıklarında sürülebilir. Kullanılan modellerin ya da hipotezlerin hem gözlemleri açıklaması hem de genel olarak kabul gören felsefi ilkelerle uyumlu olup gerçeğin karşılığı olması gerektiğine inandılar. Tycho Brahe, gökbilimsel gözlemleri Aristocu ve (görünüşe göre) Kutsal Kitap'ın Dünya'nın hareketsiz olduğu dogmasına uzlaştırma girişimiyle, kendi evren modelini geliştirdi. Bu, Ptolemaios'un ve Kopernik'inkiler arasında bir uzlaşmaydı. Ay ve Güneş hâlâ gökkürenin merkezinde hareketsiz duran bir Dünya'nın etrafında dönüyorlardı, ama geri kalan beş gezegenin yörüngelerinin merkezinde Güneş vardı. Kutsal Kitap'ın kelimesi kelimesine yorumunun kabul edilişiyle, bir modele gerçekçi bir bağlılığı uyumlu hale getirmek için yapılmış bir girişim olarak görülebilir.

Ortaçağ Avrupa'sındaki birçok Hıristiyan gökbilimci, bu gerçekçi bakışla zıt biçimde kullanılan hipotezlerin, yalnızca mümkün olduğunca yalın olmasını ve görünüşleri mümkün olduğunca kurtarmasını istedi. Bu tür hipotezlerin gerçekliğiyle ilgili bu kayıtsız tutum, bazı çevrelerde Kopernik'in *De Revolutionibus*'u gökbilimciler üzerindeki güçlü etkisini oluşturduktan sonra bile devam etti. Luther, Kutsal Kitap adına Kopernik modeline ilk önce saldıranların arasındaydı. Gökbilim bundan sonra felsefenin ve dinbilimin görüşlerine uymak

zorundaydı. Roma'da Collegio Romano'da etkili bir bilim adamı olan Cizvit gökbilimci Christopher Clavius (1538–1612), gökbilimsel hipotezlerin olası olabilmeleri için, hem görünüşleri kurtarmaları hem de fiziğin yasalarına uymaları ve Kilise'nin öğretisiyle çelişmemeleri gerektiğine inandı. Böylece, uygulanabilir bir alternatifi olmayan Kopernik modeli oldukça olası olarak kabul edilebilirdi - yalnız Kutsal Kitap'la çelişiyor gibi görünüyordu. Clavius, Kopernik sistemine karşı çıktı ve Ptolemaios'unkinin destekçisi olmaya devam etti.

Böylece, Bellarmine ve Galilei, Kutsal Kitap'la bilim arasındaki açık anlaşmazlıkları çözümlemek için gerekli uygun yöntem üzerinde anlaşamamanın dışında, temel bir felsefi sorun üzerinde de farklı görüşteydiler: Gökbilimsel kuramların yorumlanması için, gerçekçiliğe karşı enstrümentalizm (ç.n. fikirlerin davranışın rehberi olarak işlediği ve geçerliliklerinin davranışın sonucunun başarısıyla değerlendirildiği bir pragmatik kuram) sorunu. Sahne savaş için hazırdı.

10.3 *Büyük Düşes'e Mektup*

Galilei, İncil'in yorumlanması sorunuyla ilgili olarak, Kutsal Kitap'ın inanç ve ölümlülerle ilgili konuları ele almak için herkesçe bilinen dili kullandığını ve İncil'in bilimsel bir araştırma olmadığını öne sürdü. Din ile gözlem ve deney bilimleri arasındaki ilişki için önemli bir emsalin oluşturulduğuna inanıyordu. Büyük Düşes'e gönderdiği mektup, yazıldıktan (1615) yıllarca sonra, 1636'da ortaya çıktı ve sonrasında Katolik ülkelerde dağıtılması durduruldu. Mektubun tamamı kırk sayfadan fazladır. Bu mektuptan birçok alıntı bu konunun sonunda verilmektedir. Burada yalnızca Galilei'nin bu mektupta işaret ettiği önemli noktaları özetliyoruz.

1 Akademik düşünürler (zamanının Aristocularını kast ediyor) fikirlere gerçekten daha fazla değer veriyor. Galilei'nin çalışmaları Aristo'nun ve Ptolemaios'un akıl yürütmelerini çürüttü. Ona acı çektirenler, onun akıl yürütmelerini aslında anlamadılar. İtirazlarının ana dayanağı, bilimin yanlış

olduğunun gösterilebilirliği yerine, İncil'e karşı olduğuna olan inançlarıydı.

2 Bilim, din hakkında herhangi bir iddiada bulunmaz. Güneş hareket ediyor ve Dünya da hareketsiz duruyor gözükür. Bu, İncil'in kendileri için olduğu sıradan insanların dilidir. Burada bir yorumlama sorunu vardır.

3 Kutsal Kitap'ın anlamına karar vermek için, otoritenin körü körüne kabulü yerine, deneyim ve Tanrı'nm bize verdiği akıl kullanılmalıdır. Galilei, başlığı *Değerlendiren* (1623) olan daha sonraki bir çalışmasında, gerçek olayları açıklama konusunda aklın ve gözlemin saf inanca olan üstünlüğünü çok çarpıcı bir biçimde savunmuştur.

> Eğer Sarsi [Galilei'yi eleştirenlerden birinin takma adı] benim Suidas [onuncu yüzyıl Yunanlı leksikografı (ç.n. sözlükçüsü)] ile birlikte Babillilerin yumurtalarını sapanlarla havada savurarak pişirdiklerine inanmamı istiyorsa, buna inanacağım; fakat bu sonucun nedeninin, onun önerdiğinden çok farklı olduğunu söylemeliyim. Doğru nedeni bulmak için şöyle akıl yürütüyorum: 'Diğerlerinin daha önce elde ettiği bir sonucu elde edemezsek, yaptığımız işlemlerde onların başarılı olmasını sağlayan bir şeyin eksik olması gerekir. Ve eğer yalnızca bir tek şey eksikse, o halde yalnızca o şey doğru neden olabilir. Şimdi ne yumurta, ne sapan, ne de sapanı savuracak güçlü adam eksiğimiz var; yine de yumurtalar pişmiyor, hatta önceden sıcaksalar, yalnızca daha hızlı soğuyorlar. Ve bizde, Babilli olmamamız dışında, eksik olan bir şey olmadığına göre, katılaşan yumurtaların nedeni, havanın sürtünmesi değil, Babilli olmaktır.'[6]

4 İncil'in amacı bilim öğretmek değildir. Galilei, yine gerçeğin birliğini vurguladı.

5 Dogmaların entelektüel sorgulamayı susturması tehlikesiyle ilgileniyordu.

6 Son olarak bilginlere, İncil'in anlamını, bilimlerin yardımıyla aramaları çağrısında bulundu.

Galilei'nin temel konumu, yalnızca kelimesi kelimesine bir yorumu kabul etmekle, İncil'de kullanılan dilin tarihi bağlamının yeterince ayırdında olmak arasında uygun bir denge kurulması gerektiğidir. Bu, bugün birçok İncil çalışan bilginin benimsediği tutuma benzerdir. Bunu, *Mektup*'ta, tartışmanın büyük bölümünün odaklandığı Joshua'nın Kitabı'ndaki ünlü parçayı (10:10–15) incelemesinde, iğneleyici bir dille de olsa, etkili bir biçimde savunuyor. Bu parçada Joshua (ç.n. Musa'dan sonra Yahudilerin başına geçip onları Kutsal Topraklara götüren lider) Güneş'e durmasını emreder, ki böylece İsrailliler Amorluları (ç.n. İsraillilerden önce Kutsal Topraklarda ve Babil'de yaşayan Sami kavmi) öldürebilirler ve dolayısıyla (eski Filistin'de Kudüs'ün kuzeybatısındaki) Gibeon kasabasını kurtarabilirler.

> Yahweh onları [Amorluları] Gibeon'da tamamen yenerek apar topar İsrail'den sürdü... Ve onlar İsrail'den kaçarlarken..., Yahweh, gökten üzerlerine kocaman dolu taneleri yağdırdı... Sonra Joshua, Yahweh'in Amorluları İsraillilere teslim ettiği aynı gün, Yahweh'le konuştu. Joshua buyurdu:
>
> 'Güneş, Gibeon üzerinde hareketsiz kal,
> ve Ay, sen de, Aijalon Vadisi üzerinde'.
> Ve Güneş hareketsiz kaldı, ve Ay durdu,
> insanlar düşmanlarından öç alana kadar.
>
> Bu Adalet'in Kitabı'nda yazmıyor mu? Güneş gökyüzünün ortasında hareketsiz kaldı ve batışını neredeyse bütün bir gün geciktirdi.[7]

Galilei, *Mektup*'ta en tumturaklı biçimde düşmanlarının konumunu (Kutsal Kitap'ın kelimesi kelimesine doğru kabul edilmesi gerektiği) Ptolemaios modeline karşı ve Kopernik'inkini destekler şekilde kullanmaya girişti.[8] Günün (Ptolemaios modeline göre) Güneş'in hareketsiz kalmasıyla çok fazla uzayamayacağını öne sürdü. Yani, Güneş'in ekliptik boyunca hareketi, sabit yıldızlar küresinin dönme yönünün tersi yönde olduğundan (Şekil 4.1'i hatırlayınız), Güneş'in kendi gerçek hareketini (dönmekte olan gökküreye göre) durdurması, günü yalnızca kısaltacaktır (günü uzatmayacaktır). "Günü uzatmanın yolu, Güneş'in kendi gerçek hareketini, bu hareket gökküre-

ninkine eşit olana dek hızlandırmasıyla olur" biçiminde öne sürdü. Fakat bu da kesinlikle Joshua'nın kelimesi kelimesine okunmasıyla uyuşmazlık içinde olurdu. Okunanı kurtarmak için - 've Ay durdu' ile uyum içinde - bütün gökküre sisteminin dönmesinin (yani, gökküre ve onu sürdüren tüm gezegenlerin) durduğu söylenmeye kalkışılırsa, hâlâ Kutsal Kitap'ın kelimesi kelimesine yorumundan ayrılmış olunurdu. Galilei daha sonra, tam olarak ikna edici olmayan bir biçimde (kendisi tarafından anlaşıldığı şekliyle), Kopernik modelinin aslında Joshua'nın emirlerinin kelimesi kelimesine yorumlanmasıyla daha fazla uyum içinde olduğunu öne sürdü. Kendisinin temel 'Kopernik' evreni (aslında, bir hayli Kepler evrenidir - Kısım 5.4'ün *anima motrix*'ini hatırlayınız) betimlemesi, Güneş'in 'Doğa'nın başbakanı ve bir anlamda da evrenin kalbi ve canı olduğu, kendi dönüşüyle onu çevreleyen diğer cisimlere, yalnızca ışık değil, aynı zamanda hareket aşıladığı'[9] biçimindeydi. Dolayısıyla, Güneş'in (kendi ekseni etrafındaki) dönüşü durmuş olsaydı, Galilei'nin söylediğine göre, gezegenlerin hareketi de dururdu ve bu da Joshua'nın, olayları Kutsal Kitap'ta bulunan şekliyle tanımlamasını açıklardı. (Tabii ki, bugün Güneş'in dönüşünü gezegenlerin hareketinin nedeni olarak kabul etmiyoruz.) Galilei ona karşı çıkanların önüne bir ikilem koydu: Ya İncil'in kelimesi kelimesine yorumunu ve onunla birlikte ('kabul gören öğretilere karşı olan') Kopernik modelini kabul etmeliydiler ya da ('geleneksel') Ptolemaios modelini kurtarmak için, kelimesi kelimesine yorumdan vazgeçmeliydiler. Galilei'nin buradaki asıl amacı, tartışmayı kelimesi kelimesine yorumdan uzaklaştırmaktı. Galilei'nin önce rakibinin konumunu kabul edip, sonrasında yalnızca bu konumun kendisini (en azından, apaçık) çürüten bir sonuca varmak şeklindeki bu taktiğini daha önce de (Kısım 6.5'in sonuna doğru) görmüştük (orada rakibi Aristo idi).

Galilei'ye, 1616'da Bellarmine tarafından yapılan bir sorgulamadan sonra, İncil'e aykırı olduğu söylenen Kopernik kuramına inanmaması ve onu savunmaması tembih edildi. Bellarmine tarafından verilen bu talimat, kuramı öğretmesini (varsayımsal olarak ilişkilendirmesi anlamında) yasaklamadı. Bununla birlikte, içinde Galilei'nin

'Papa Hazretlerinin ve bütün Papalık Meclisi Cemaatinin adına, Güneş'in dünyanın merkezinde ve hareketsiz olduğunu ve Dünya'nın da hareket ettiğini söyleyen fikri tamamıyla terk etmesinin; bundan sonra da buna inanmamasının, bunu öğretmemesinin ve herhangi bir şekilde sözlü ya da yazılı olarak savunmamasının emredildiği ve sıkıca tembih edildiği; aksi taktirde Papalık Meclisi tarafından aleyhinde yargılama işlemlerine başlanacağı; Galilei'nin dediklerine göre, bu yasaklama kararına boyun eğdiği ve ona uymaya söz verdiği'[10] imzasız ve şahitsiz bir belge Engizisyon'un dosyalarına konuldu. Galilei bu notta, o zaman ilan edilmemiş olan bu mahkeme kararından habersiz görünüyordu. Galilei, Bellarmine'le olan bu ilk sorgulamasının ardından, en ünlü eserlerinden bazılarını yazdığı uzun yıllar sürecek olan (gönüllü) inzivaya çekildi. 1624'te, birçoğunun Cizvit olduğu düşmanlarına karşı çok sert bir saldırı olan *Değerlendiren*'i ve 1632'de de *Başlıca İki Dünya Sistemi Üzerine Söyleşi*'si yayınlandı. *Söyleşi*, Kopernik kuramını açıkça desteklemediği ve en baştan kesin olarak Dünya'nın hareketsiz olamayacağını belirtmediği için, teknik olarak tarafsız olduğu izlenimi veriyordu. Bununla birlikte, sunulan fikir yürütmeler ve kanıtlar öylesine ezici bir çoğunlukta Kopernik modelinden yanaydı ki, Ptolemaios modeli aslında her bakımdan yıkılıyordu. Yine de Galilei'nin 1632'de Engizisyonun karşısına çıkarılmasıyla sonuçlanan sürecin nedeni, yalnızca bu Güneş merkezli kurama olan destek değildi. Papa VIII. Urban'ın kişiliği de bunda önemli bir rol oynadı.

10.4 Galilei ve VIII. Urban

Galilei, daha önce teleskopla yaptığı gözlemlerin büyük başarısı sonrasında, 1611 yılının baharında, çalışmalarını Roma Üniversitesi'ndeki (ç.n. İngilizçesi 'Roman College') Cizvit gökbilimcilerle, özellikle de Clavius'la tartışmak için Roma'ya gitti. Ziyareti çok başarılı oldu. Cizvitler tarafından onurlandırıldı ve modern bilimsel toplulukların bir öncüsü olan Lincean Akademisi'nin bir üyesi yapıldı. Bu akademi, Galilei'nin daha sonraki çalışmalarının bazılarının

yayınlanmasında önemli bir rol oynayacaktı. Galilei, daha sonra 1611'de Floransa'da Büyük Dük tarafından verilen bir akşam yemeğinde Kardinal Maffeo Barberini (1568-1644) ile tanıştı. Bu etkili kilise bürokratı, zengin bir Floransa ailesinin üyesiydi; sanat ve bilim konularıyla da yakından ilgiliydi. Bu sıralarda Barberini, Galilei'nin çalışmalarından hoşnuttu ve uzun yıllar boyunca onunla arkadaşça ilişkilerini korudu.

Bellarmine'le olan 1616 sorgulaması sonrasındaki, Kopernik sistemi üzerinde çalışmasını yasaklayan hüküm ve bunu takiben güçlü Cizvitlerle olan (özellikle de *Değerlendiren*'i kendisine karşı yazdığı Papaz Horatio Grassi (1590-1654) ile olan) kavgaları nedeniyle, Galilei, hayranı ve koruyucusu olan Maffeo Barberini'nin 1623 yılının ağustos ayında Papa VIII. Urban oluşunu görmekten yüreklenmişti. *Değerlendiren* yeni Papa'ya adanmıştı ve Lincean Akademisi'nin desteği altında yayınlandı. Galilei, 1624 baharında, Papa'yı görmek için, Roma'ya gitti ve orada iyi karşılandı. Bu iki adam arasındaki karşılıklı konuşmaların yazılı kayıtları olmadığından, neler söylendiğinden hiçbir zaman tam olarak emin olamayız. Bununla birlikte, bu konuşmalara yapılmış olan, bazı çıkarımların yapılmasına izin veren göndermeler vardır.[11] Bilinen yazılı eserlerde içerilen inanç sorunlarıyla (Kopernik'inki gibi) bilimsel kuramlar arasındaki ilişkiyi tartışmışlar gibi görünüyor. Galilei, Papa'yla olan bu görüşmelerinde, akla yatkın olarak Barberini'ye, onun geçmişte uzun yıllar öncesinde okyanustaki gelgit dalgalarına dayanan akıl yürütmelerin, Dünya'nın hareketi için ve dolayısıyla Kopernik kuramı için kanıt sağladığını kabul ettiğini hatırlatmış olabilir. (Bugün, Galilei'nin gelgit dalgalarını açıklayışının - bunun burada hiçbir sonucu olmamasına karşın - doğru olmadığını biliyoruz.) Urban tarafından buna verilecek olası (kendisi tarafından tercih edildiği bilinen) bir yanıt, Tanrı'nın gözlemlenen etkiyi (burada, gelgit dalgalarını) başka etkiler aracılığıyla da oluşturabileceği olasılığını göz ardı etmememiz gerektiği olabilir. Her koşulda, Papa, Galilei'ye rakip Ptolemaios ve Kopernik kuramlarını inceleme iznini, yalnızca 'varsayımlara dayanan' bir açıdan ve ikisi arasında herhangi bir tarafı tutmamak kaydıyla verdi.

Bu, Galilei'nin *Söyleşi*'yi yazmasına giden yolu açarken, bununla beraber Galilei'ye, Urban'ın Kutsal Kitap'ın otoritesinin korunması konusunda, bilimsel araştırmayla bilginin ilerletilmesinden daha büyük bir sorumluluk hissettiği açıkça görünmüş olmalıdır.

Galilei *Söyleşi*'yi yazdığında, bunu (Galilei'nin Aristo'nun eserlerinin altıncı yüzyıldaki yorumcusu Simplicius'un karikatürü olan) Simplicio'ya gelgit dalgalarına dayanan akıl yürütmeyi özetleyerek sonuçlandırdı:

> Şimdiye kadar yaptığımız tartışmalara ve özellikle de okyanusun taşmasının ve geri çekilmesinin nedenleriyle ilgili olan bu sonuncusuna gelince, aslında tamamen ikna olmadım; fakat bu sorun hakkında aklımda oluşan zayıf fikirlere göre, senin düşüncelerinin bana şimdiye kadar duyduğum birçoklarından daha ustaca göründüğünü itiraf etmeliyim. Dolayısıyla onları doğru ya da kesin diye almıyorum; gerçekten de bir keresinde son derece saygıdeğer ve bilgili birinden duyduğum ve herkesin önünde suskun kalması gereken, doğruluğu kuşku götürmez bir öğretiyi her zaman aklımın gözünün önünde tutarak, Tanrı'nın sonsuz gücü ve aklı ile 'sulu' elemente gözlemlenen ileri geri süregiden hareketini, onu kapsayan kapları hareket ettirmesinin dışında, başka yollar aracılığıyla bağışlayıp bağışlayamayacağı sorulduğunda, her ikimizin de O'nun bunu bağışlayabileceğini ve O'nun bunu bizim akıllarımızca düşünülemeyecek kadar çok yollarla yapmayı bileceğini söyleyerek yanıt vereceğimizi biliyorum. Şu halde bundan da, bu böyle olduğuna göre herhangi birinin İlahi Kudret'i ve Aklı, kendisinin belirli bir hayaliyle sınırlandırmasının ve kısıtlamasının aşırı bir cesaret olduğu sonucuna varıyorum.

Buna, Galilei'nin sözcüsü Salviati şöyle yanıt verir:

> Kendisi de İlahi olan ve bir diğeriyle uyum içindeki hayran olunacak ve meleksi bir öğreti de, ki bu diğeri bizlere evrenin yapısı hakkında tartışabilme hakkını (belki de insan aklının çalışması kısıtlanmasın ya da tembelleşmesin diye) verir, O'nun ellerinin eserlerini keşfedemeyeceğimizi ekler. O halde, kendimizi O'nun sonsuz aklının mutlak derinliklerine inmek için ne kadar yetersiz bulursak bulalım, bize Tanrı tarafından izin verilen ve buyurulan bu etkinlikleri yerine getirelim, ki O'nun büyüklüğünün ayırdında olabiliriz ve böylece bunu çok daha fazla takdir edebiliriz.[12]

Bazıları, gururlu Urban'ın, Galilei'nin onu Simplicio karakteri aracılığıyla alaya aldığına (olasılıkla Galilei'nin düşmanlarının kışkırtmalarının da etkisiyle) inandığını öne sürdüler.[13] Ya da, Papa, Galilei'nin *Söyleşi*'nin yayınlanması için verilen izinin içerdiği güvene – bu eserin aslında Kopernik modelinin lehine yaptığı güçlü savunma göz önüne alındığında – ihanet etmesi olarak gördüğü bu duruma çok sinirlenmiş de olabilir. Bu, Kutsal Kitap'ın otoritesine meydan okuyormuş gibi görünüyordu. Gerçek etkenler ne olursa olsun, Urban, yeğeni Kardinal Francesco Barberini'yi (1597–1679) Galilei aleyhindeki suçlamalar hakkında görüş belirleyecek olan komisyonun başkanı olarak atamaya teşvik edildi. Sorun, bu komitenin raporunun bir sonucu olarak, 1632 yılında resmi olarak Engizisyon'un önüne getirildi. Galilei, 1633 yılının haziranında, Engizisyon tarafından suçlu bulundu ve sözünü geri alması sağlandı. Galilei, cezaya karar verildikten sonra, küçük düşürücü bir sözünden yeminle geri dönme formülünü söylemek zorunda bırakıldı.

Şimdiye kadar bu çatışmayı, temelde entelektüel ve dini açılardan sunduk; araştırma özgürlüğüne karşı kurumsal otorite ve (Kutsal Kitap'ın kelimesi kelimesine yorumlanmasıyla ilgili olarak) gerçekçiliğe karşı enstrümentalizm. Şimdi bu olayın bir başka önemli boyutunun da, zengin ve güçlü insanların, bilimin öncülerine destek olurken sağladıkları himaye olduğunu belirten tartışmalara daha açık tezden söz edeceğiz.[14] On yedinci yüzyıl üniversiteleri, dünya hakkındaki yerleşik bakış açısını tehdit eden yeni fikirlere genel olarak açık değildiler; Galilei gibi bilim adamlarının çoğu, çalışmalarıyla kendilerini geçindiremiyorlardı ve bir sponsor bulmak zorundaydılar. Himaye sisteminde önemli buluşlar, ya da tutulan yüksek konum, bilim adamının prestijini arttırıyordu, hamiye saygınlık getiriyordu ve hami tarafından verilen desteğin devamlı olması (ya da, daha da iyisi, daha güçlü bir başka hami tarafından destek bulma) şansını yükseltiyordu. Öte yandan, başarısızlık ya da gözden düşme, bilim adamı için geçimini sağlayamamak anlamına gelebilirdi. Galilei'nin kariyerindeki bazı değişiklikler, en iyi, onun bu düzendeki konumunu elde etmek ya da geliştirmek gereksinimi ve arzusuyla harekete

geçtiğiyle açıklanabilir. Geçmişteki başarıların rüzgârıyla uzun süre gidilemiyordu, aksine sürekli olarak üstünlüğün gösterilmesi gerekiyordu. Elde ettiği ün, onu en çok aranan alıcılardan biri haline getirdi. Kariyerindeki hırsı, o zamanların bir başka etkili grubu olan Cizvitlerin yoluyla kesişiyordu. (Bellarmine'in, Clavius'un ve Grassi'nin Cizvit olduğunu anımsayınız.) Her ikisi de himaye sistemine bağlıydılar ve dolayısıyla ikisi birbiriyle anlaşmazlığa düştüğünde kazanılacak ya da kaybedilecekler çoktu. Bu açıdan bakıldığında, bazıları, Galilei'ye karşı çevrilen dolaplarda Cizvitlerin oynadığı söylenen rolü, önemli bir rakibin saygınlığını yitirmesini sağlayarak entelektüel açıdan daha yüksek bir konuma gelme çabası olarak anlamaya kalkışırlar. Himaye sistemi hakkındaki bu tür gerçekler, Galilei'nin yargılanmasına giden yoldaki olaylar hakkında fazladan bir anlayış zenginliği getirse de, karmaşık bir öyküdeki birçok ayrıntıdan yalnızca birini oluşturabilirler. Entrikalar ve himaye sistemi ya da her neyse, *Söyleşi* yayınlanmamış olsaydı, büyük olasılıkla herhangi bir yargılama da olmayacaktı.[15]

10.5 Din ile Doğa Felsefesi Karşı Karşıya

Böylece, Galilei'nin yargılanmasındaki bütün karmaşıklıklara karşın, herhalde "kurumsal otoriteye karşı (en azından entelektüel sorgulama bağlamında) bireyin özgürlüğü sorunu önemli bir konu olarak duruyor" demek haksızlık olmaz. Bu, tabii ki, modern tarih boyunca tekrar tekrar ortaya çıkan bir konudur ve bugün bile hâlâ bizimle birliktedir. Galilei'nin durumunda bu (en azından geriye dönüp baktığımızda), Kilise'ye karşı bilim kılığında karşımıza çıktı, fakat bu tarihi bir olasılıktı. O zamanlara ve yere özgü dinamikler - Bellarmine'in, Urban'ın ve Galilei'nin kendisinin kişilikleri, olasılıkla bilim adamları ve sanatçılar için var olan himaye sistemi de - sorunu karmaşıklaştırdı ve olayın en sonundaki sonucunda önemli rol oynadılar.

Galilei'nin İtalya'sında dini otoriteyle bilim arasında daha bir ayrımın bulunmadığı çok açıktır. Galilei'nin çağdaşı bir İngiliz, Thomas Hobbes (1588-1679), tanrıbilimin felsefeden kesin bir biçimde

ayrılması gerektiğini öne sürdü. Hobbes'un inancına göre bilim, Tanrı'nın yarattıkları hakkında daha fazla bilgi ortaya çıkarırken ve dolayısıyla insanın Tanrı'ya olan şükür ve hayranlık duygusunu arttırırken, örgütlü din (kralların mutlak egemenliğini de savunduğu *Leviathan*'mda (ç.n. çok büyük bir canavar anlamında) öne sürdüğü gibi) aslında sivil bir uyumsuzluk kaynağıydı. Hobbes'un felsefesi, Galilei'nin hareket yasaları üzerindeki görüşlerinden etkilenmişti ve Galilei'yle 1636 civarında İtalya'da tanıştı. Hobbes'u biçimsel dini etkileri bilimden (ya da doğa felsefesinden) ayırma mücadelesindeki önemli bir kişi olarak belirtiyoruz, fakat bu, böylesi bir geçişin aniden ya da bir bütün olarak gerçekleştiği anlamına gelmez. Kaldı ki Newton, daha önce gördüğümüz gibi, (belki biraz alışılmışın dışında olsa da) güçlü dini inançlara sahipti ve Tanrı anlayışı onun daha genel bilimsel görüşlerini (hatta *Principia*'da ve daha da fazlasıyla *Optics*'inin Sorular kısmında ifade edildiği gibi) etkilemişti.

Son olarak, Galilei'nin başına gelenler sık sık dinin (daha doğrusu dini otoritenin) bilim üzerine olabilen karşıt etkisini göstermek için kullanılıyor olsa da, düşünür Alfred Whitehead'in (1861-1947) orta çağ tanrıbiliminin bilimin yükselişine olanak veren iklimi sağlamada oynadığı rol hakkındaki aşağıdaki görüşünü ele alalım.

> Şimdiye dek orta çağ felsefesinin bilimsel hareketin oluşumundaki en büyük katkısını daha ortaya koymadım. Her ayrıntılı olayın, ondan önce gelenlerle tamamen belirli, genel ilkeleri örnekler bir biçimde ilişkilendirilebileceğine ilişkin yabana atılamaz inancı kastediyorum. Bu inanç olmadan, bilim adamlarının akıl almaz çalışmaları ümitsiz olurdu. Araştırmayı devindiren güç, hayal gücünün önünde canlı bir biçimde yer alan bu içgüdüsel kanıdır - bir giz olduğu, açığa çıkarılabilecek bir giz olduğu inancı.
>
> . . .
>
> Avrupa'daki bu düşünce tavrını, kendi hallerine bırakılmış diğer uygarlıkların tutumuyla karşılaştırdığımızda, bunun kökeni için yalnızca bir kaynak olduğu görünür. Bu, Jehovah'ın kişisel enerjisiyle, Yunanlı bir

düşünürün mantıklılığıyla tasarlanmış, Tanrı'nın akılcılığına dair orta çağ ısrarcılığından gelmelidir. Her ayrıntı denetlenmişti ve ısmarlanmıştı. Doğayı anlamak için yapılan araştırma, yalnızca akılcılığa olan inancın doğruluğunu kanıtlamakla sonuçlanabilirdi... Avrupalı akla yüzyılların sorgulanmamış inancından doğarak kazınmış kalıbı... kastediyorum.

. . .

Asya'da Tanrı kavramları, bu tür fikirlerin aklın içgüdüsel alışkanlıkları üzerinde pek bir etkide bulunabilmesi için ya çok keyfi ya da fazlasıyla kişisel olmayan bir varlığa aitti. Belirli bir olay mantıksız bir zorbanın buyruğu sonucu olabilirdi, ya da eşyaların kişisel olmayan, esrarengiz kökenlerinden kaynaklanabilirdi. Kişisel bir varlıktaki anlaşılabilir akla uygunluktaki güvenin aynısı yoktu. Doğanın anlaşılabilir olduğuna ilişkin Avrupalılarda bulunan güvenin mantıksal olarak kendi tanrıbilimleriyle bile haklı çıkartıldığını öne sürmüyorum. Benim tek amacım, bunun nasıl ortaya çıktığını anlamak. Benim açıklamam, modern bilimsel kuramın gelişmesi öncesinde oluşturulan bilimin olası olduğuna ilişkin olan inancın ortaçağ tanrıbiliminin bilinçsiz bir türevi olduğudur.[16]

10.A Galilei'nin *Büyük Düşes'e Mektubu*

Aşağıda, Galilei'nin uzun *Mektup*'undan alıntılar veriyoruz:

Birkaç yıl önce, Siz Yüce Ekselanslarının iyi bildiği gibi, gökyüzünde kendi çağımızdan önce görülmemiş birçok şey keşfettim. Bu şeylerin yeniliği ve bununla birlikte bunlardan çıkarılan akademik profesörler arasında genel olarak inanılan fiziksel kanılarla çelişkili bazı sonuçlar - sanki bu şeyleri gökyüzüne doğayı bozmak ve bilimleri altüst etmek için ben kendi ellerimle yerleştirmişim gibi - hiç de az sayıda olmayan profesörü bana karşı harekete geçirdi. Bilinen gerçeklerdeki artışın, güzel sanatların küçülmesini ya da yıkımını değil, onun araştırılmasını, yapılaşmasını ve büyümesini özendirdiğini unutmuş görünüyorlardı.

Kendi görüşlerine, gerçeğe olandan daha büyük bir düşkünlük gösterip, bu yeni şeyleri inkâr etmeye ve çürütmeye çabaladılar; oysa, kendileri aramayı umursamış olsalardı, kendi akılları onlara bunları göstermiş olacaktı. Bu amaç için değişik suçlamalarda bulundular ve boş fikir yürütmelerle dolu sayısız yazılar yayınladılar ve bunların orasına burasına İncil'den doğru dürüst anlamayı beceremedikleri yerlerden alınmış ve

kendi amaçları için uygunsuz biçimde kullanılmış bölümler serpiştirmek gibi büyük bir yanlışlığa düştüler.

. . .

Bu adamlar, benim genel olarak kabul görenlerden farklı olan diğer önermelerimin bilinen doğruluğundan olasılıkla rahatsız oldukları ve dolayısıyla kendilerini felsefe alanıyla sınırlandırdıkları sürece savunmalarına güvenemedikleri için, kendi yanlış düşüncelerine İncil'in otoritesinden ve görünüşte din (ç.n. gerçek anlamda inanılan değil, şeklen kuralları yerine getirilen din) kisvesinden bir kalkan oluşturmaya karar verdiler. Bunları, çok az bir sağduyuyla, anlamadıkları ve hatta daha dinlemedikleri savların çürütülmesine uyguladılar.

. . .

Çünkü Kopernik, din ve inanç sorunlarını asla tartışmaz; herhangi bir şekilde hatalı olarak yorumlamış olabileceği kutsal yazıların otoritesine dayanacak savlar da kullanmaz. Her zaman gök cisimlerinin hareketlerine dayanan fiziksel sonuçlar üzerinde durur ve bunlarla, öncelikle duyu deneyimleri ve çok kesin gözlemler üzerine kurulmuş gök bilimsel ve geometrik gösterimler aracılığıyla ilgilenir. İncil'i göz ardı etmemişti, ama öğretisi kanıtlanırsa, bunun doğru olarak anlaşıldığında Kutsal Kitap'la çelişemeyeceğini çok iyi biliyordu. Ve bu nedenle, adama mektubunun sonunda, papaya ithafen şöyle dedi:
'Şans eseri matematik konusunda cahil, ama bu disiplinde yetenekliymiş gibi davranan kutsal yazıların yorumlanması konusunda uzmanlar olur ve bunlar benim bu hipotezimi kendi amaçlarına uygunca çarpıtılmış, Kutsal Kitap'tan bir alıntının otoritesine dayanarak lanetlemeye ve sansürlemeye cüret ederlerse, onlara değer vermem, hatta dikkate alınamayacak yargılarına hor gözle bakarım. Çünkü - başka bakımlardan değerli bir yazar olduğu halde kötü bir matematikçi olan - Lactantius Dünya'nın top gibi yuvarlak olduğunu öne sürenlerle dalga geçerken, onun şekli hakkında çok çocukça yazdığı biliniyor. Dolayısıyla o tür insanlar da benimle dalga geçmeye çalışırlarsa, bu akıllı insanlara garip gelmemelidir. Fakat matematik matematikçiler için yazılır ve eğer onlar tarafından kandırılmıyorsam, benim bu çalışmalarım onların bilgi alanına, tıpkı şimdi siz Papa Hazretlerinin hükmettiği Kilise'ninkine olduğu gibi, katkıda bulunuyor diye kabul edilecek.'

. . .

Dünya'nın hareket ettiği ve Güneş'in hareketsiz durduğu görüşünü yalanlamak için üretilen neden, İncil'in çoğu yerinde Güneş'in hareket ettiği ve Dünya'nın hareketsiz durduğu sonucunun çıkarılabilmesindedir. İncil yanılıyor olamayacağına göre, bunun gerekli bir sonucu olarak, "Güneş'in doğası gereği hareketsiz ve Dünya'nın da hareket edebilir olduğuna inanan her kimse, hatalı ve dinle çelişen bir konuma düşer" çıkarımı gelir.

Bu savla ilgili olarak, ilk önce kutsal İncil'in - gerçek anlamı anlaşıldığı zaman - asla doğru olmayanı söyleyemeyeceğini doğrulamanın, çok dikkatlice ve bunu demenin de çok dindarca olduğunu düşünüyorum. Fakat O'nun çoğunlukla anlaşılması çok güç olduğunu ve yalın sözcüklerinin belirttiğinden oldukça farklı şeyler söyleyebildiğini kimsenin inkâr etmeyeceğine inanıyorum.

. . .

Fakat kendimi, bizleri duyularla, akılla ve onu kullanma gücüyle donatan aynı Tanrı'nın bunların kullanımından vazgeçmeye ve bunlarla ulaşmayı başarabileceğimiz bilgiyi bize başka yollarla vermeye niyetlendiğine inanmak zorunda hissetmiyorum. Bizlerden, gözlerimizin ve aklımızın önünde doğrudan deneyimle ya da gerekli gösterimlerle, olan biten fiziksel meselelerde duyularımızı ve aklımızı inkâr etmemizi istemezdi.

. . .

Burada en seçkin derecedeki bir kilise papazından duyulan bir şeyi söylerdim: 'Kutsal Ruh'un niyeti, bize cennetin nasıl var olduğunu değil, insanın cennete nasıl gideceğini öğretmektir.'

. . .

Dolayısıyla eğer insanoğlu, değişmezliğine karşı geçerli ve etkili herhangi bir öğretinin ortaya çıkmasına ilişkin en küçük bir tehlike bile olmayan günahlardan kurtulmayı ve dinimizin temellerini ilgilendiren makaleler dışında, daha fazla makaleyi gereksizce bir araya getirmeseydi, herhalde akılcı ve yararlı bir öğüt olurdu.

. . .

Bilgili ve öngörülü din büyüklerinden, kanıtlanabilmeye açık olanlarla, inançlara bağlı olan öğretiler arasında var olan farkı büyük bir dikkatle ele almalarını saygıyla diliyorum. Kanıtlanabilir bilimlerin profesörlerinin, mantıksal çıkarımların uyguladığı kuvvet göz önüne alındığında,

fikirlerini istedikleri anda keyfe göre değiştirmelerinin ve enerjilerini önce bir tarafa sonra da öteki tarafa harcamalarının ellerinden gelemeyeceğini bulabilirler. Bir matematikçiyi ya da bir düşünürü yönetmekle, bir avukatı ya da bir tüccarı etki altına almak arasında büyük bir fark vardır, çünkü doğadaki ya da göklerdeki şeylerle ilgili gösterilmiş sonuçlar, bir sözleşmede, bir anlaşmada ya da bir alışveriş faturasında neyin yasal olup neyin olmadığıyla ilgili fikirlerin değiştirilmesindeki kolaylıkla değiştirilemezler.

. . .

Bundan, Kutsal Kitap'taki metinlerin, çıkarımıza uygun olarak kullandığımız yorumlarının, gösterilmiş doğruluklarla uyuşmadıklarında yanlış olacakları görülür. Ve dolayısıyla, İncil'in tartışılmaz anlamını, gösterilmiş doğrulukların yardımıyla aramalı ve herhangi bir şekilde doğayı istemediği bir şeyi yapmaya zorlamayı denememeli ya da zayıflıklarımıza çekici gelebilen sözcüklerin, yalnızca seslerine uyarak, deneyimleri ve kesin kanıtları inkâr etmemeliyiz.[17]

Yararlı Kaynaklar

Stillman Drake'in *Galilei'nin Keşifleri ve İnançları*, Galilei'nin *Büyük Düşes Christina'ya Mektup*'unu da içeren daha kısa eserlerinin birçoğunun İngilizce'ye çevirileri ve bunlar hakkındaki yorumlar için uygun bir kaynaktır. Giorgio de Santillana'nın *Galilei'nin Suçu* adlı eseri, Galilei'nin Roma Kilisesi'yle karşı karşıya kalışının öyküsü için standart bir referansken, Colin Ronan'ın *Galilei*'si, Galilei'nin okunması hoş bir genel biyografisidir. Maurice Finocchiaro *Galilei Olayı* adlı eserinde, bu ünlü anlaşmazlığın dikkatle belgelenmiş bir tarihini verir. Patronaj sistemi (ç.n. zengin ve soyluların, sanatçı ve bilim adamlarını himayelerine alarak maddi ve manevi yönden destek olmaları) ve bunun Galilei gibi bilim adamlarını nasıl etkilediği konusunda Richard Westfall'un *Galilei'nin Yargılanması Üzerine Denemeler* ve Mario Biagioli'nin *Saray Adamı Galilei* adlı kitaplarına bakınız.

11

Boydan Boya Örten Newtoncu Çatı

Modern bilimde, bir kuramı belirli bir alan içerisinde (dikey tutarlılık), ayrıntılı niceliksel öngörülerde bulunabilme yeteneğine göre değerlendiririz ve özgün alanı dışındaki çeşitli alanlardaki (yatay tutarlılık) uygulamalarını da ararız.[1] Bu yolla, çoğunlukla doğa olaylarının doğru gösteriminin bir işareti olarak kabul edilen tutarlı bir kavramlar, yasalar ve kuramlar ağı oluştururuz. Bu konu, bu sürecin yararlı bir açıklayıcı örneği olarak, evrensel kütleçekim yasasının keşfini ve gelişimini ele alışımızı özet halinde tekrarlıyor; bunun uzay ve zaman hakkındaki fikirlerimizle nasıl iç içe örüldüğünü tartışıyor. Burada, ortaya anlaşılabilir bir anlatı çıkması umuduyla, gerçeklerin seçilerek bir dizi halinde düzenlendiği geçmişi göz önüne sunan bir öykü anlatıyoruz. Bu, tabii ki, olayların oldukları biçimde gelişmek zorunda kalmaları için, eşyanın doğası gereği, bir ihtiyacın var olduğunu gerektirmez.

11.1 Bir Devrim

(Kısım 4.5 ve 4.7'de) daha önce gördüğümüz gibi, evrene Aristocu bakış açısında, Dünya gökkürenin merkezindeydi ve evrenle Dünya arasındaki bütün uzay, her bölgenin gezegenlerden birinin etki alanında olduğu eş merkezli bölgelere (Eudoxus'un aynı merkezli

kürelerine) bölünmüştü. Bu küresel bölgeler sistemi, yıldızların ve gezegenlerin gözlemlenen hareketlerini açıklayabilmek için, bir bölgeyi diğeri içinde döndürüyordu. Sistemin bütünü, en dıştaki kabuğun, yani gökkürenin hareketiyle güdülüyordu. Gökkürenin ötesinde hiçbir şey yoktu. Bu modelde, Ay ile Dünya arasında kalan uzaydaki bütün değişimlerden ve çeşitliliklerden, gök cisimlerinin hareketleri sorumluydu. Dünya, merkezde doğal olarak hareketsizdi ve dünyevi (dünya yüzeyinin üzerinde ya da hemen yukarısında olan) bütün hareketler, (en azından kısmen) dolaylı olarak gök cisimleri tarafından güdülüyorlardı.

Gök cisimlerinin hareketiyle ilgili bu Aristocu kuram, iki küre evreni gibi, fiziksel dünyanın anlaşılması yolunda atılmış iyi bir ilk adımdı. Gök cisimleri için doğal dairesel hareketle, bu modelde merkezi ve durağan bir dünyaya gereksinim olduğundan, gezegenimsi bir Dünya'ya sahip her yeni kozmolojinin de yeni hareket yasalarına gereksiniminin olması doğaldı. Bu iki sorun birbirinden ayrılamaz bir biçimde iç içe geçmişti. Aristocu düşüncenin bütün yapısı karmaşıktı. 6. Konu'da söz ettiğimiz *horror vacui*, yalnızca Dünya yüzeyinde görülen, suyun bir tulumbada yükselmesi olayını ve antik Yunanlılar için bir boşluk yaratmanın görünebilir olanaksızlığını açıklamakla kalmıyordu, aynı zamanda dönme hareketini birbirine ileten, gökteki bitişik kürelerle de ilişkiliydi. Dönme hareketinin bir boşluk aracılığıyla iletimi akla uygun görünmediğinden, her küresel kabuk kendi öğesiyle doluydu. Madde ve uzay kavramları bu taslakta ayrılmaz bir biçimde ilintiliydi, öyle ki, biri olmadan diğeri var olamazdı. Bir boşluğun konumlanacağı herhangi bir 'yer' olamazdı. Dolayısıyla bir boşluk mantıksal olarak olanaksızdı. Dünya'nın merkezi konumu ona ve onun gibi dünyadaki en önemli varlık olan insana, benzersiz bir konum sağlıyordu. Bütün bir düşünce örgüsü bir arada dokunmuştu ve herhangi bir kısma yapılan bir saldırı, bütünü ayrıştırıp sökmeye dönük bir tehlike olarak algılanıyordu.

5. Konu'da, Kopenrik tarafından ilk kez önerildiği haliyle, Güneş merkezli modelin, Ptolemaios'un yer merkezli modeline karşı kesin bir zafer elde edemediğini gördük. Kopenrik'in sağlığında dünya

görüşü konusunda bir devrim olmamıştı. Aslında Kopenrik devrimi, onun *De Revolutionibus*'unda bulunmaz. Bu eser, belirli soruları öne çıkararak, bu devrim için gerekli temelleri atmıştı; Newton'un *Principia*'sı da gezegenlerin hareketini açıklayan bir dizi yasa ve ilkeyi kodlayarak devrimi sonlandırmıştı. Kopenrik'in *De Revolutionibus*'u hareket eden bir Dünya sonucunda elde edilen teknik ve hesaplamaya yönelik üstünlükleri nedeniyle, profesyonel gökbilimciler için gerçekten çekiciydi. 5. Konu'da Kopenrik modelinin niceliksel ve yarı niteliksel estetik üstünlükleri de ele alınmıştı. İlk kez 1582'de kabul edilen Gregoryen takvimi, bu model kullanılarak elde edilen hesaplamalara dayanıyordu. Asıl direniş ve tartışma, gökbilim çevreleri dışından gelmişti. Bir önceki konuda belirttiğimiz gibi, Kopenrikçilik bazıları tarafından bütün Hıristiyan düşüncesini, özellikle de Kutsal Kitap'ı potansiyel olarak yıkıcı görülüyordu.

İngiliz şair ve din bilgini John Donne (1572-1631), Kopenrikçiliğun farkındaydı ve bunun gerçekten de doğru olabileceğinden korkuyordu. Bunu insanın aklını hasta edecek ve geleneksel Aristocu ve Ptolemaioscu evren bilimin dokumasını parçalayacak bir kötülük olarak görüyordu. *Dünyanın Bir Anatomisi* adlı şiiri, gelecekle ilgili bu huzursuzluk duygusunu ve bir kaybın ardından hissedilen üzüntüyü işler ve aktarır: 'Yeni felsefe her şeyin belirsiz olduğunu söylüyor... Her şey paramparça, bütün tutarlılık gitmiş.'[2] Bu şair, 'Hiç kimse, kendi bütünüyle, bir ada değildir; herkes kıtanın bir parçası, bütünün bir öğesidir'[3] diye yazan yazarla aynı kişidir. Burada da ana tema, varoluşun büyük zincirinin geleneksel metaforunda olduğu gibi, gerçekliğin tutarlılığındadır.[4] Bu varlıkların en aşağı formunu, sürekli bir şekilde yükselen bir sıralamayla en yukarıdakilerle bağlantılandıran, bir çeşit iyinin 'bolluğu' ilkesinin gerekli kıldığı, gerçekte var olan yaratıkların çoğulluğuyla ilgili Platoncu bir kavramdan kök salıyordu. Her birinin büyük planda atandığı bir yer vardı. Bu rengârenk işlenmiş duvar örtüsündeki herhangi bir ipliğin sökülmesi, bütün dünya görüşünün tehlikeye atılması olarak görülüyordu.

Kopenrik'in ve onun zamanındaki diğer gökbilimcilerin Güneş merkezli modeli gezegenlerin hareketiyle uyuşturmakta karşılaştıkları

teknik zorluğun çoğu, güvenerek kullandıkları bazı eski gözlemsel verilerin kötü nitelikte ya da çelişkilerle dolu olmasındaydı. Kopenrik devrimini etkili kılıp yerleştirmekteki gözlemsel temel, Danimarkalı gökbilimci Brahe'nin çalışmalarındaydı. Kısım 5.3'te, Brahe'nin yıldızlarla ve gezegenlerle ilgili inanılmaz miktarda kesin veri topladığını gördük. Onunkiler, yay üzerinde yaklaşık dört dakikalık bir hata payı içerisinde, çıplak gözle yapılmış en tutarlı ve kesin gözlemlerdi. Bu, antik zamanlardaki en iyi gözlemcilerin gözlemlerinin kalitesine göre iki katından fazlası kadar daha iyiydi. Bilimdeki diğer birçok ilerlemedeki gibi, bu da deneysel teknikte ya da kesinlikte önemli bir gelişmeye gereksinim duyuyordu. Brahe'nin çalışma arkadaşı Kepler, bugün onun adını taşıyan bu üç yasayı keşfetmek için bu verileri kullandı. Kepler, Brahe'nin daha kesin verileri sayesinde, gezegenlerin yörüngelerinin bir araya gelmiş daireler değil, elipsler olduğunu keşfedebilmişti. Bununla birlikte, Brahe'nin verileri çok daha kesin (diyelim, modern bir teleskopla elde edilebilecekler kadar iyi) olsaydı, Kepler yörüngelerin tam olarak elips olmadıklarını (9. Konu'daki küçük sapmaları hatırlayınız) görecekti ve ilk yasasını keşfedemeyebilirdi. Kepler'in yasaları olmaksızın, Newton'un kendi kütleçekim yasasını formüle edip edemeyeceği belirsizdir.

Galilei, 1609 yılından itibaren gökyüzünü bir teleskopla incelemişti. Bu çalışmasının, zamanının düşünce yapısı üzerine olan etkisi heyecan verici oldu. Birçok yeni yıldız keşfetti; böylece gökyüzü daha öncesinde genel olarak inanılandan çok daha büyük ve kalabalıktı. Ay'ın (Dünya'da dağlık bir bölgeninkine çok benzer görünümde) kaba bir yüzeye sahip olduğu görülüyordu. Dünya'daki ve gökyüzündeki cisimlerin birleşiminde herhangi bir fark yokmuş gibi gözüküyordu. Galilei Jüpiter'in uydularını gözlemledi. Bu, Kopenrik'in Güneş Sistemi için gözle görülebilir bir model oluşturuyordu. Galilei doğanın dilinin matematik olduğunun bilincindeydi. *Değerlendiren* adlı denemesinde şöyle der:

> Felsefe, evrende gözümüzün önünde sürekli olarak açık duran bu büyük kitapta yazılıdır. Fakat bu kitap, önce onun yazılı olduğu harflerin

> okunması ve dilin kavranması öğrenilmeden anlaşılamaz. O matematik dilinde yazılmıştır ve kahramanları insan için, onlar olmaksızın tek bir sözcüğünü bile anlamanın olanaksız olduğu üçgenler, daireler ve diğer geometrik şekillerdir; bunlar olmadan karanlık bir labirentte oradan oraya amaçsızca dolaşılır.[5]

Yani doğanın şablonları yalnızca uygun analizlerle açığa çıkarlar. Bu özü açısından, önce farkına vardığımız karmaşık olaylar yığınıyla uygun incelemelerden sonra, akılda daha açık bir hal alan olayların altındaki ilk ilkeler arasındaki farklılıklarla (bakınız Kısım 1.1) ilgili Aristo'nun görüşlerine benzer.

Şimdi hareketin ve kütleçekimin temel yasalarının belirli bir basitliğe sahip olduğunun değerini anlayabiliriz. İlke olarak, bu iki matematiksel yasa, 9. Konu'da incelediğimiz gibi, gezegenlerin hareketi problemiyle ilgili söylenebilecek her şeyin söylenmesine olanak verir. Gezegenlerin hareketlerini hesaplamak çok zor ve karmaşık olsa da, temel yasaların kendileri basittir. Bununla birlikte, bu basitlik yalnızca matematik dilinde ve ciddi bir analiz sonrasında görülebilir. Bu büyük başarıya karşın, bugüne kadar evrende olan bütün fiziksel olayları içine alan ya da açıklayan herhangi bir yasa ya da kuram bilmediğimizi, yalnızca her biri farklı olaylar sınıfını açıklayan çeşitli yasaları bildiğimizi kendimize hatırlatmak ayıltıcıdır.

11.2 Kapsamlı Bir Tutarlılık

Kütleçekimin keşfedilmesinde kullanılan yöntem tamamen moderndir ve aslında bugün bildiğimiz şekliyle bilimsel araştırma ve ilerleme için bir örnektir. Kepler, Brahe'nin geliştirilmiş verilerine dayanarak kendi üç yasasını deneysel olarak keşfetti. Galilei, idealleştirilmiş durumları hem kuramsal hem de deneysel olarak inceledi ve (belki de tamamen doğru olmayan) eylemsizlik kavramını ortaya koydu. Newton, bunları kendi eylemsizlik ve kütleçekim yasalarıyla bir araya getirdi. Kuramında, bu yasaların bilinen bir kökeni yoktur; bizlere cisimlerin nasıl davranacaklarını söyleyen niceliksel ve kesin yasalardır. Ancak yine de bu yasalar cisimlerin neden böyle

davrandıklarını söylemez. Newton, Güneş'in gezegenleri ters kare bir kuvvetle kendine doğru çektiğini belirten özgün savında, temel olarak Kepler'in kendi yasalarında söylediklerini yeniden ifade etmişti. Bununla birlikte, Newton evrendeki bütün cisimler arasındaki karşılıklı çekim için büyük bir genelleme yapmıştı. Kendi daha genel yasalarından, öncekileri - yani Kepler'in gezegenlerin hareketleriyle ilgili yasalarını - çıkarabilmiş ve Dünya'nın neden (kütleçekim yüzünden) neredeyse bir küre olduğu ve neden (kendi ekseni etrafındaki dönme hareketinin yol açtığı dışa doğru kuvvet yüzünden) ekvator bölgesinde hafifçe şişkin olduğu gibi, okyanuslardaki gelgit dalgalarının etkilerini açıklayabilmişti. Bütün bunlar, bir genelleme düzeyinden bir diğerine dikkatle ilerlemenin en iyi Baconcu geleneğindeydi. Daha öncesinde vurguladığımız gibi, Newton aslında tümevarımın yanında hipotetik-tümdengelim yöntemini de kullanıyordu. Bazen, akıl yürütmeyle ilgili Kural IV'ünde olduğu gibi (bakınız Kısım 7.2), bu süreci ima eder görünüyordu; fakat başka yerlerde yönteminin tümevarımsal yönlerine daha fazla vurguda bulunuyordu. Newton, çalışma arkadaşı Roger Cotes'a (1682-1716) yazdığı bir mektupta şöyle der:

> [İlk] ilkeler olaylardan çıkarılır ve bir önermenin bu felsefede sahip olabileceği en yüksek kanıt olan tümevarımla genellenir. Ve buradaki 'hipotez' sözcüğü benim tarafımdan yalnızca bir olay olmayan ya da olaylardan çıkarılmayan ama - herhangi bir deneysel kanıt olmaksızın - kabul edilen ya da varsayılan böyle bir önermeyi anlatmak için kullanılır.[6]

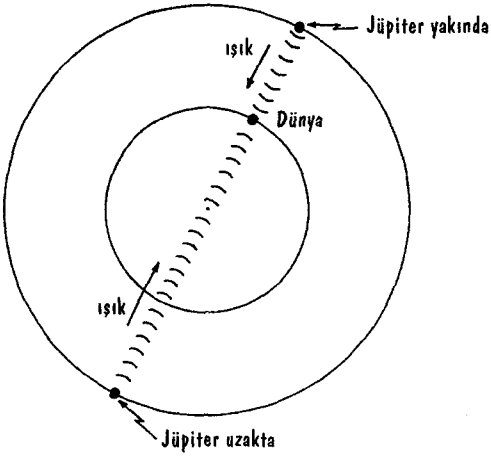
Benzer biçimde Newton, dünyanın önde gelen bilim adamlarıyla uluslararası karşılıklı bir yazışma ilişkisi kurmuş olan Kraliyet Derneği Sekreteri Henry Oldenburg'a yazdığı bir mektupta, kendi kütleçekim yasasına nasıl ulaştığını ve bunun nasıl sınanması gerektiği konusundaki düşüncelerini anlatır.

> 'Ve değerlendirilmek üzere öne sürdüğüm kuramın ... olumlu yönde ve doğrudan sonuç veren deneylerden çıkarılarak ... içime doğduğunu size anlattım.

. . .

> Eğer yapılmalarını içtenlikle istediğim deneyler mükemmel sonuçlar vermezlerse, hataları göstermek zor olmaz; ama eğer geçerli olurlarsa, kuramı kanıtlayarak bütün itirazları geçersiz kılmalıdırlar.[7]

Kopenrik'in modeli, Kepler'in yasaları ya da Newton'un hareket ve kütleçekim yasaları bir kere kabul edilirlerse, kontrol edilebilecekleri birçok test ve uyumlu olmak zorunda oldukları başka gerçekler vardır. Örnek olarak, 1675 yılında Danimarkalı gökbilimci Olaus Roemer (1644-1710), Jüpiter'in uydularının bu gezegenin arkasından ön görülenden bazen sekiz dakika daha erken ve bazen de sekiz dakika daha geç çıktıklarını gözlemledi. Dünya Jüpiter'e daha yakınken daha erken ve Dünya Jüpiter'den daha uzakken daha geç gözüküyorlardı. Roemer, (Kepler'in yasalarından beklenileceği gibi) gezegenlerin hareketlerindeki düzenlilikten kuşkulanmak yerine, oluşan zaman farkını ışığın sonlu bir hızla yayılmasına bağladı. Bir cismi, ancak o cisimden çıkan ışık gözümüze ulaştıktan sonra 'göreceğimizi' biliyoruz. O cisim, ışık gözünüze ulaştığı zaman, sizin onu 'gördüğünüz' yerde olmak zorunda değildir. Şekil 11.1'in açıklığa kavuşturduğu gibi, Roemer'in gözlemlediği zaman farkı, ışığın Dünya'nın yörüngesinin çapı boyunca giderken geçen süredir. Bu, ışığın sonlu hızının ilk kez belirlenmesiydi. Burada, geçerli bir yasa, bir diğerinin keşfedilmesi için (bir yatay tutarlılık örneği) kullanıldı. 5. Konu'da, gezegenlerin yörüngelerinin mutlak boylarıyla, üçgen oluşturularak, Dünya'nın kendi boyu arasında nasıl ilişki kurulabileceğini gördüğümüzü hatırlayınız. Yani, Roemer Dünya'nın Güneş etrafındaki yörüngesinin boyunun (bakınız Kısım 4.A) (sayısal) değerini daha önceden biliyordu. Yaptığı hesapları kolayca şöyle özetleyebiliriz: Dünya'nın Güneş etrafındaki yörüngesinin yarıçapı (R_e) Dünya'nın kendi yarıçapı (r_e) cinsinden R_e=24 400 r_e (r_e=4000 mil [6,44 × 10^3 km]) olarak verilir. Ölçülen gecikme süresi t 22 dakika olduğu için, Roemer c'yi (ışık hızını) $c = (2R_e/t)$, ya da yaklaşık 1,48 × 10^5 mil/s [2,38 × 10^5 km/s] olarak hesaplayabilmişti. Bu, günümüzde kabul edilen 1,86 × 10^5 mil/s [3,00 × 10^5 km/s] değeriyle karşılaştırılmalıdır.



Şekil 11.1 Roemer'in ışığın hızını belirlemesi

Roemer'in özgün değeri, günümüz standartlarına oranla yaklaşık %20 daha düşük olsa da, bir ilk belirleme için akla yatkındır, ancak daha da önemlisi, c'nin sonlu olduğunu göstermesidir.[8]

Kısım 9.3'te bir ara bahsettiğimiz gibi, Newton'un hareket ve kütleçekim yasalarına olan inanç, gökbilimcilerin Uranüs'ün yörüngesindeki açıklanamamış küçük sapmaları kullanarak, Neptün gezegeninin varlığını ve bulunduğu konumu tahmin etmelerini sağladı. William Herschel, 1781 yılında gökyüzündeki yıldızların haritasını çıkarırken, her gece gökteki sabit yıldızlara göre hareket eden parlak bir cisim keşfetti. Bu, yeni bir gezegendi, yani Uranüs. Kısa sürede Uranüs'ün yörüngesinin tam bir elips olmadığı ortaya çıktı. 1820'ye gelindiğinde, büyük Fransız matematikçisi Laplace'ın özenle çalışılmış ve kesin sonuçlar veren küçük sapmalar kuramı, Uranüs'ün hareketine o zamanlar bilinen en yakın ve büyük iki gezegenin, Jüpiter ve Satürn'ün, kütleçekimsel etkileri göz önünde bulundurularak uygulanmıştı. Bu hesaplamalarla yapılan öngörüler, Uranüs'ün gözlemlenen yörüngesiyle uyumlu değildi. Alman matematikçi Bessel, Satürn'ün hesaplamada kullanılan kütlesini artırarak uyum sağlamaya çabaladı, ama bu Satürn'ün yörüngesini diğer gözlemlerle uyumlu olamayacak kadar çok değiştiriyordu. Bu nedenle, John Herschel'e,

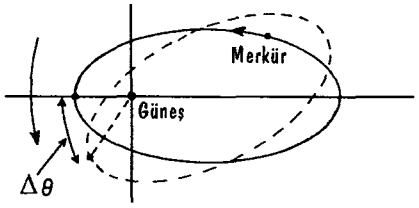
Uranüs'ün yörüngesindeki kalıcı sapmaların Uranüs'ün ötesinde o zamana dek keşfedilmemiş bir gezegen yüzünden olduğunu düşündüğünü söyledi. 1843 yılında, o sırada Cambridge'de St. John's College'da bir lisans öğrencisi olan John Adams, yeni gezegenin beklenen kütlesini, yörüngesini ve konumunu hesaplamaya başladı. 1845 yılının eylül ayında bulduğu sonuçları Cambridge Gözlemevi'nin müdürü olan gökbilimci James Challis'e (1803–1882) ve sonrasında aynı yılın kasım ayında Greenwich Gözlemevi'nin Kraliyet Gökbilimcisi olan İngiliz matematikçisi Sir George Airy'e (1801–1892) sundu. Airy, bunun ve Fransız matematikçisi Leverrier'le olan bir yazışmasının sonucunda, 1846 yılında gökyüzünün Cambridge Gözlemevi tarafından belirli bir düzen uyarınca taranmasını önerdi. Adams, Cambridge Gözlemevi'ndeki sorumluları bu gezegeni aramak için ikna etmekte zorlanıyordu. Challis en sonunda, 1846 yılının temmuz ayının sonlarında aramalarına başladı. Ama gözlemlerinde yeterince inatçı olmadığından ve ayrıntıları tam anlamıyla incelemediğinden, yeni gezegeni bulamadı. Bu arada Leverrier, benzer ama çok daha ayrıntılı hesaplamalar yapmıştı ve 1845 yılının kasım ayında tahminlerini yayınladı. 1846 yılında bulduğu sonuçları Berlin Gözlemevi'nden Johann Galle'ye yolladı. Galle, 1846 yılının eylül ayında, Leverrier'in mektubunu aldığı gün, birkaç saat içerisinde yeni gezegen Neptün'ü keşfetti.

Benzer biçimde, yirminci yüzyılın başlarında, Amerikalı gökbilimci Percival Lowell (1855–1916), Neptün'ün yörüngesindeki düzensizliklerin ayrıntılı bir çalışmasını yaptı. Bunları, Neptün'ün ötesinde o zamana dek gözlenmemiş bir gezegenin etkisine bağladı. *Neptün Ötesi Bir Gezegen Üzerine Rapor*'u 1915 yılına dek yayınlanmadı. Buna karşın, daha öncesinde yeni gezegenin olası konumunu tahmin etti. 1905 yılında, Flagstaff Arizona'da kurduğu gözlemevinde, bu gezegen için sistemli bir arama başlattı. Uzun süredir aranmakta olan gezegenin, kendisi de Lowell Gözlemevi'nde çalışan Clyde Tombaugh (1906–1997) tarafından gerçekten gözlemlenmesi, 1930 yılının başlarından önce olmadı. Bu gezegene Plüton adı verildi ve Percival Lowell'in adının ilk harflerinden oluşan bir sembolle gösterildi.

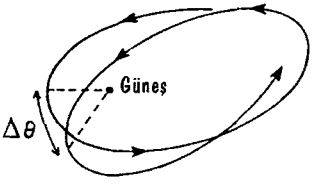
Lowell'in dinamik hesaplamalarının sonradan yapılan incelemelerinde, bunlarda çok fazla hata olduğu bulundu. Plüton'nun bugün kabul edilen parametrelerinin gerçek değerleri, Lowell tarafından tahmin edilenlerden çok farklıdır. Dolayısıyla, Plüton'nun keşfi, yörüngenin kesin parametrelerinin ve kütlenin kuramsal olarak tahmin edildiği ve sonrasında gözlemlendiği kütleçekimin çok başarılı niceliksel zaferi senaryosuna uymaz. Buna karşın, Plüton, Newton kuramına göre açıklanabilir düzensizlikler nedeniyle, var olduğuna dair inancın ön ayak olduğu sistemli bir aramanın sonunda keşfedildi.

Hem Neptün'ün hem de Plüton'nun keşifleri, bilginin üst üste biriken sonuçlarının örnekleridir. Bu, bilimsel etkinliklerde önemli bir etkendir. Doğanın kumaşındaki ipliklerin bu iç içe geçmişliği, büyük kısmı modern bilim tarafından yeniden doldurulmuş olan Aristocu düşüncenin karmaşık yapısını akla getirir. Newton'un kütleçekim kuramının şimdiye kadar incelediğimiz testlerinin tümü, laboratuvar deneyleri yerine, gökbilimsel gözlemlere dayalıdır. Newton'un kuramına, Cavendish'in evrensel kütleçekim sabiti G'yi (bakınız Kısım 8.4) bulmasıyla doğrudan deneysel kanıt da sağlandı.

Bununla birlikte, gezegenlerin yörüngeleriyle ilgili her şey Newton'un yasaları tarafından doğru olarak açıklanamaz. Merkür'ün düzlemindeki eliptik yörüngede, klasik küçük sapmalar kuramı tarafından tahmin edilmeyen küçük bir yalpalama (ç.n.: İngilizce 'precession' dönen bir topacın eksenine etki eden bir kuvvet nedeniyle yaptığı yalpalama hareketine benzer dönme hareketi) ya da dönme hareketi vardır. Merkür'ün eliptik yörüngesini, Şekil 11.2'de belirtildiği gibi, yavaşça dönüyormuş gibi resmedebiliriz. Merkür'ün Güneş etrafındaki her dönüşü sırasında, günberisi (ya da Merkür'ün Güneş'e en çok yaklaştığı andaki uzaklığı) $\Delta\theta$ açısı kadar ileri gider. Bunun sonucunda gezegenin yörüngesi, Şekil 11.3'te gösterildiği gibi, asla tam olarak kapanamaz. Şimdi klasik Newton kuramına göre, Güneş ile Merkür arasında yalnızca $1/r^2$ gibi giden merkezi bir kuvvet etki ederse, Merkür'ün yörüngesi tam olarak bir elips olmalı ve yörüngenin günberisi (Kısım 9.2'de gösterildiği gibi) uzayda tamı tamına aynı noktada sabit kalmalıdır. Fakat Merkür'ün günberisinin her



Şekil 11.2 Yalpalayan bir elips



Şekil 11.3 Günberinin kayması

yüzyılda yay üzerinde 5601 saniye kadar ilerlediği gözlemlenmiştir. Güneş Sistemi'ndeki diğer cisimler tarafından oluşturulan küçük sapma etkileri, Newton'un kuramı dahilinde (bakınız Kısım 18.2) hesaplandığında, her yüzyılda yay üzerinde 5588 saniyelik bir kısım açıklanabilmektedir. Böylelikle, klasik olarak nereden geldiği açıklanamayan her yüzyılda yay üzerinde 43 saniyelik bir kısım kalmaktadır. (1°'de 3600″ olduğu için, yüzyılda 43″ bir ilerlemenin ne kadar küçük olduğunu düşününüz.) Bu, gökbilimsel gözlemler ve küçük sapma hesaplamaları yeterince hassas olduklarından on dokuzuncu yüzyılda bile öne çıkan bir problemdi.

Newton kuramını kurtarmak için yapılmış birçok deneme vardı. Biz yalnızca iki tanesinden söz edeceğiz. 1859 yılında, daha öncesinde başarılı bir şekilde Neptün'ün var olduğunu öngören Leverrier, bu kalıcı sapmaların nedeni olarak (Roma mitolojisinde Venüs'ün eşi olan) Vulcan adında başka bir gezegenin varlığını postüle etti. Ancak, böyle bir gezegen asla bulunmadı. Newton'un kütleçekim yasasının tam olarak doğru olamayacağı ve fazladan küçük bir $1/r^3$ terimini içerecek şekilde değiştirilmesi gerektiği de önerildi. Bu formdaki küçük bir fazladan terimin yalpalayan bir elips oluşturacağı

matematiksel olarak kanıtlanabilir. Bununla birlikte, böyle bir açıklama ad hoc (ç.n.: Kısım 2.4'ün sonunu hatırlayınız) olur ve yalnızca bu tek durumu açıklamak için 'uydurulduğundan' çok çekici olmaz. Einstein'ın genel görelilik kuramı, Newton'un kütleçekim yasasıyla aradaki bu uyuşmazlığı niceliksel ve doğal olarak açıklar. Dahası Einstein'ın kuramı çok daha fazlasını öngörür. 18. Konu'da (ç.n.: bu konu ikinci ciltte yer alacak) göreceğimiz gibi, Einstein'm kuramı, Newton'un yasasını bir sınır durumu olarak içerir.

İlginç bir biçimde, kütleçekimin bu öngörüler bakımından başarılı kuramlarının - Newton'un ve sonrasında Einstein'm - her biri, uzayın belli bir biçimde algılanmasıyla çok yakından ilgiliydi.

11.3 Newton'un Öncesinde Uzay Üzerine Düşünceler

Uzayın doğası hakkmdaki inançlar antik çağlardan günümüze dek çok büyük değişikliklere uğradılar. Bugün bir deyim gibi kullanılan 'sokaktaki adam', o kişi bunun hakkında düşünmeyi seçmiş olsaydı, fiziksel dünyanın temelini oluşturan boş uzayı herhalde sonsuz kere bölünebilir (sürekli), iç yapısı gereği herhangi bir tercih edilmiş yönü bulunmayan (izotropik), temel olarak her yerde aynı olan (homojen) ve sonsuz büyüklükte diye nitelendirirdi. Böyle bir kimsenin uzayı, uzayın varlığı maddenin var olmasına dayanıyormuş gibi görünmese de, içinde maddenin var olabileceği basit bir içine öte beri konan kap ya da arka plan olarak düşünmesi de doğaldır. Bununla birlikte, uzayın bu özellikleri günümüzde birçok kimseye akla yetirince uygun görünüyor olsa da, her birinin duyu algılamalarına hemencecik açık olmayan soyut bir kavram olduğunu fark etmeliyiz. Büyük olasılıkla önce ilkel 'yer' fikri oluştu ve yan anlamında oldukça yereldi. Bu kısımda uzayı soyut olarak kavrayışımızın evrimini kısaca betimleyeceğiz.

Bugün maddenin 'atomik' resmiyle ünlü olan Democritus için, uzay (ya da boşluk) yalnızca maddenin (atomların) hareketini içeren, ama maddeye hiçbir şekilde etki etmeyen sonsuz bir boş büyüklüktü.

Sonrası bir çağda Romalı ozan ve düşünür Lucretius *Evrenin Doğası* adlı ayrıntılı incelemesinde, evrenin sonsuz büyüklükte olduğunu aşağıdaki gibi kanıtlamaya çalıştı.

> Yine, bir an için var olan bütün uzay sınırlı diye kabul edildiğinde, bir kimsenin uzayın en dış sınırlarına doğru koştuğunu ve sınırda elinden gelen en kenar noktada durduğunu ve sonra da kanatlı bir cirit attığını düşünürsek, ciritin çok şiddetli bir kuvvetle fırlatıldığında gönderildiği noktaya doğru ilerleyecek ve bir mesafe uçacak olduğunu mu seçersin, yoksa bir şeyin onun yoluna çıkabileceğine ve onu durduracağına mı karar verirsin? Çünkü iki varsayımdan birini kabul etmeli ve seçmelisin; ki bunların her ikisi de tüm kaçış yollarını tıkar ve seni evrenin sonu olmaksızın uzayıp gittiğini onaylamak zorunda bırakır.[9]

Buradaki temel fikir, uzayın bir sınırının ya da sonunun uzayın varsayılan kıyısının ötesinde bir yer olacak olan bir 'duvarı' gerektireceğidir. Bu tez daha sonra (ya bir boşluk ya da içinde madde olan bir) evrenin büyüklüğünün sonsuz olması gerektiğini kanıtlamak için defalarca kez tekrar edilebilir. Fakat uzayda var olan cisimlerle sonsuz bir evren sonsuz bir uzayı gerektirir. Uzay Lucretius ile içine maddenin yerleştirilebileceği sonsuz bir içine öte beri konabilen kap oldu. Bu bizim daha önce ifade ettiğimiz 'sokaktaki adam' görüşüne benzerdir.

Bununla birlikte, madde ve uzay daha önce Platon'la birlikte ayrılmaz bir biçimde birleştiler. Maddeyi boş uzayla bir tuttu, çünkü fiziksel cisimlerin dünyasını geometrik formlarınkiyle eşitledi. Dünya'yı oluşturan dört element aşağıdaki uzayla ilgili düzgün yapılarla belirlenmişlerdi: Su düzgün yirmiyüzlüyle (ç.n.: İngilizcesi 'icosahedron') (yirmi yüzlü bir cisim), hava düzgün sekizyüzlüyle (ç.n.: İngilizcesi 'octahedron') (sekiz yüzlü bir cisim), ateş piramitle ve toprak da küple. Onun için fizik geometri olmuştu. (Kısım 5.4'te ele alındığı gibi Kepler'in beş düzgün cisimlerinde ve üçüncü yasasında benzer bir geometrik etkiyi hatırlayınız.)

Sonrasında, Aristo'nun görüşünde uzay, cisimlerin doğal hareketlerini belirlediği için, madde üzerine aktif bir etkide bulunuyordu:

> Dahası, temel doğal cisimlerin - yani, ateş, toprak ve benzerlerinin - tipik hareketleri yerin (ç.n.: konum anlamında) yalnızca bir şey olduğunu değil, aynı zamanda belirli bir etkide bulunduğunu da gösterir. Her biri kendi yerine doğru taşınır, engellenmezse, biri yukarıya, diğeri aşağıya.[10]

Uzayın değişik bölgelerindeki farklı koşullar, bir cismin uygun yerine doğru olan doğal hareketini belirledi. Bir boşluğun bir bölgeden bir diğerine durum değişikliği ya da yön özelliği bulunmayacağından, Aristo böylesi bir boşlukta doğal hareketin olamayacağını düşündü. Bundan, bir boşluğun var olmasının olanaksız olduğu sonucuna vardı.

Uzayın antik çağlardaki bu üç önemli kuramını (uzayın kendi fiziksel yapısını vurgulayan) atomcu görüş, (uzayın matematiksel özelliklerini ve maddeyle uzay arasındaki bağlantıyı vurgulayan) Platoncu görüş ve (uzayın nedensel doğasını vurgulayan) Aristocu görüş diye özetleyebiliriz. Klasik Yunan felsefesi ve bilimi, uzayı Platon ile yerel geometrik değişimler yüzünden homojen olmayan ve sonrasında Aristo ile de yukarı ve aşağı arasında açıkça iç yapısının gereği olan ayrılık yüzünden izotropik olmayan bir şey olarak gösterdi.

6. Konu'da (MS) altıncı yüzyıl düşünürü John Philoponus'un, Aristo'nun hareket kuramını eleştirdiğini gördük. Uzayın katıksızca boyutluluk olduğunu ve bir bölgeden bir diğerine hiçbir niteliksel farklılıklara sahip olmadığını, uzayın maddeden ayrı olduğunu düşündüğünde de Aristocu gelenekten ayrılıyordu. Ona göre, uzay madde üzerine hiçbir etkide bulunmuyordu. Sonrasında boşluğun gerçekliği Kopenrik, Galilei ve Kepler'in yeni fiziğinin baskısı altında, bağımsız, sonsuz, yapısız bir uzayın varlığının gördüğü gibi kabul gördü. Newton, bu özellikleri kendi uzay kavramının içine katacaktı.

Descartes, *Felsefenin İlkeleri* adlı eserinde, maddeyi katıksız geometrik bir büyüklükle özdeşleştirince çok farklı bir görüş ortaya koydu: 'Cismin doğası, ağırlığından, sertliğinden, renginden ya da böyle şeylerden değil, yalnızca büyüklüğünden oluşur.'[11] Ona göre, evrende madde ve hareketten başka hiçbir şey yoktu. Ya da, maddeyi

geometrik büyüklükle bir tuttuğundan, evrenin temel varlıkları büyüklük ve hareketti. Descartes, maddeyle uzayın bu neredeyse Platoncu özdeşleştirilişinden, kendinden önce Aristo'nun yaptığına benzer bir biçimde, (içinde madde bulunmayan bir uzay anlamında) bir boşluğun mantıksal olarak olanaksız olduğu sonucuna vardı.[12] Bir kez maddesel bir boşluğun var olamayacağı sonucuna ulaştıktan sonra, yukarıda Lucretius'unkine benzer bir akıl yürütme kullanarak, uzay sonsuz olmak zorunda olduğundan, maddesel evrenin de sonsuz olması gerektiğini gösterdi.

Şimdi sonradan etkili olan bir fikrin kökenini bulduğumuz antik Yahudiliğe yönelip, konu dışına çıkarak, öykümüzün bir başka yönünü ele alalım. Burada uzayla Tanrı arasında bir bağlantı vardı. Aslında, İbranice 'konum' sözcüğü (*makom*) Tanrı'nın bir ismi olarak kullanılır. Tanrısal Aynı Anda Her Yerde Olabilirlik fikri iyi bilinen 139. İlahi'de açıktır:

> Ruhundan kurtulmak için nereye gidebilirim?
> Varlığından nereye kaçabilirim?
> Göklere tırmansam, oradasın,
> oradasın, Sheol'da [Cehennem] yatsam.
> Gündoğumu noktasına doğru uçsam,
> ya da denizin üzerinden batı yönünde,
> elin hâlâ bana rehberlik eder,
> sağ elin beni tutarak.[13]

Uzayın Tanrı'yla özdeşleştirilişi tüm maddeye nüfuz ve etki eden uzayla Tanrı'yı özdeşleştirerek, Tanrı'nın varlığına bir kanıt aramış olan Cambrigdeli düşünür Henry More'un (bakınız Kısım 7.1) yazdıkları aracılığıyla, sonunda Newton'u etkisi altına alacaktır. More, Descartes ile, uzayın maddeyle özdeşleştirilmesi de dahil olmak üzere, çok önemli felsefi noktalarda kesinlikle farklı kanılarda olsa da, uzayın mutlaka sonsuz olduğuna inanıyordu. Ona göre uzay maddesel değildi ve dolayısıyla Tanrı'ya atfedilen birçok özelliğini paylaşan bir ruhtu. More, bu sonsuz, gerekli, ruhsal varlığı Tanrı ile özdeşleştirdi.

> Tanrısal Deha'nın [güç ya da ruh] ona atfedilen alışılagelmiş ve bu sonsuz iç mekâna (*locus*) mükemmel bir şekilde uyan unvanları yirmiden az değildir;... Tanrısal Deha'ya, Kabalcılar tarafından, MAKOM yani Konum (*locus*) denir.[14]

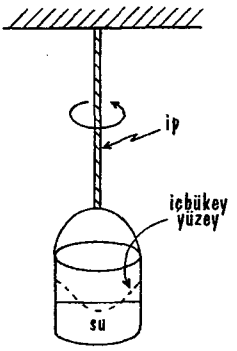
Maddesel (ve rastlantısal) dünya, sonsuz (mutlaka var olan) bir uzayın içinde yerleşmiş olarak sonluydu.

11.4 Newton'un Mutlak Uzayı

Şimdi *Principia*'nın başarısından sonra hakim olan uzay görüşüne dönüyoruz. Newton, kendi uzay kuramı dışında, fiziğini ve metafiziğini ayrı tuttu. Ünlü *hypotheses non fingo*su ('Ben hipotezler uydurmam'), gizemli, metafiziksel ya da dinsel varlıkları diğer bilimsel uğraşlarında dışarıda tutmak için kullandığı yol göstericisiydi. More'un Newton üzerindeki felsefi etkisinin yanı sıra, Isaac Barrow'unki de önemliydi. Barrow, uzayın tanrısal, aynı anda her yerde olabilirlikle özdeşleştirildiği kendi geometri sistemini geliştirdi. Newton, mutlak uzayın kendi hareketin ilk yasasının (eylemsizlik yasası) geçerliliği için bile gerekli mantıksal ve ontolojik (ç.n.: metafiziğin varlığın doğasıyla ilgilenen dalı) bir zorunluluk olduğunu düşündü. *Principia*'nın ilk basımının önsözünde geometrinin mekaniğin bir parçası olduğunu söyledi:

> Dolayısıyla geometri mekanik uygulamada kurulmuştur ve evrensel mekaniğin ölçme sanatını kesinlikle öneren ve gösteren kısmından başka bir şey değildir.[15]

Yani, Newton uzayı ve onun yapısını gözlemsel mekanik biliminin bir parçası olarak düşündü. *Principia*'nın I. Kitap'ını göreli ve mutlak uzayların doğası üzerine uzun bir *scholium* (açıklamalar) ile açtı.[16] Bunu, mutlak ya da matematiksel uzayın maddi cisimlerden bağımsız olarak var olurken, göreli uzayın maddesel cisimlerin konumlarıyla belirlediğimiz uzay olduğunu söyleyerek özetleyebiliriz. Newton (bu mutlak uzaya göre) mutlak hareketin kinematik



Şekil 11.4 Newton'un kova 'deneyi'

kullanılarak (cisimlere etki eden kuvvetleri incelemeden yalnızca hareketlerini çalışarak) ortaya çıkarılamayacağını fark etti. Böyle gözlemlerle yalnızca göreli hareketler ortaya çıkarılabilirler.

Bununla birlikte, mutlak hareketin varlığının gösterimine olanak sağlayacak merkezkaç kuvvetlerini temel alan dinamik bir sav öne sürdü. Bunu kurmak amacını güden ünlü düşünce deneyinin özü şöyledir:[17] Su dolu bir kovanın bir iple Şekil 11.4'te gösterildiği gibi tavandan asıldığını düşünün. Suyun yüzeyi düz olacaktır. Sonra ipi sıkıca bükülmüş olacak ve serbest bırakıldığında açılırken kovayı dikey eksen etrafında döndürecek şekilde kıvırın. İp tamamen kıvrıldığında, hem kova hem de su başlangıç için hareketsiz olsun. Aniden kovaya etki ettirilen anlık bir çevirmeyle kovayı serbest bırakın ve onu ip açılırken kovayı dönmeye zorlayacağı yönle aynı yönde hızlı bir dönme hareketine sokun. İlk anda kova suya göre hızla döner, fakat su hemen hemen hareketsiz durur ve suyun üst yüzeyi düzdür. Dönen kovanın hareketi içindeki suya aktarılırken, suyun yüzeyi, su kovanın duvarına göre hareketsiz hale gelene dek git gide yukarı doğru içbükey olacaktır. Newton, dönme hareketinin merkezkaç kuvvetlerinden ileri gelen su yüzeyindeki düzgünlüğün bozuluşunun, suyun ve kovanın koordinat sisteminin artık eylemsiz bir koordinat sistemi olmadığını gösterdiğini öne sürdü. Başlangıçta (kova yüzeyi hâlâ düz olan suya göre hareket ederken) suyla kova arasında göreli hareket vardı ve sonrasında (su içbükey yüzeyiyle artık kovaya göre hareket etmezken)

böyle göreli bir hareket yoktu. Newton, göreli hareketin buna benzer etkileri oluşturmadığını, böylece bu gözlemlenen farkın mutlak (göreli olmayan) hareket yüzünden olduğunu ve bu hareketin varlığını da gösterdiğini iddia etti.[18] Bir cismin yalnızca tek bir gerçek dairesel hareketi olacağını öne sürdü. Burada Newton'un temel fikri gerçek (ya da mutlak) hareketlerin kuvvetlerin neden olduğu hareketler, göreli hareketlerinse bir cismin üzerine herhangi bir kuvvet etki etmezken oluşan hareketler olduğudur. Böyle bir 'deney' kullanılarak, yukarıda belirtildiği gibi yalnızca bir kap içindeki sıvının yüzeyinin davranışını gözlemleyerek, boş uzayda bile, mutlak hareketin ortaya çıkarılabilmesinin mümkün olması gerektiği görülecektir.

Ne yazık ki, bu deney yalnızca gerçek ya da gerçekte var olan dünyada yapılabilir, ki böylece boş bir dünyada sonucunun ne olacağı bir tahmin sorunu olarak kalır. Alman fizikçisi ve düşünürü Ernst Mach'ın *Mekanik Bilimi* adlı eserinde işaret ettiği gibi:

> Newton'un dönen su kabı deneyi bize basitçe suyun kabın kenarlarına göre olan göreli dönme hareketinin fark edilebilir *hiçbir* merkezkaç kuvveti oluşturmadığını, böylesi kuvvetlerin onun dünyanın kütlesine ve diğer gök cisimlerine göre olan göreli dönme hareketi tarafından *oluşturuldukları* bilgisini verir. Kimse kabın kenarlarının kalınlığının ve kütlesinin en sonunda bir kaç lig (ç.n.: İngilizce 'league' 3 deniz mili ya da 5550 metre uzunluğundaki uzunluk ölçüsü birimidir.) kalınlığında olacak kadar arttırıldığında ne olacağını söyleyebilecek durumda değildir. Önümüzde tek duran yalnız bir deneydir ve bizim işimiz onu hayal gücümüzün düş ürünü yapıtlarıyla değil, bize bilinen diğer gerçeklerle uyumlu hale getirmektir.[19]

Mach'ın ana fikri, böyle koşullar altında suyun yüzeyinin gerçekte nasıl davranacağını görmek için evrenin içindeki (dönen kova ve içerisindeki su dışında) tüm maddeyi boşaltamayacağımızdır. Dolayısıyla, suyun yüzeyinin hangi şekli alacağı konusunda yalnızca tahminde bulunabiliriz. Böylece Newton'un savı gücünü yitirir ve kesin olmaktan çıkar. Newton, Mach'a göre hiçbir şey kanıtlamamıştır.

Newton, evrenin merkezinin içinde sonsuza dek hareketsiz kaldığı[20] mutlak bir uzayın eylemsizlik yasasına kullanılabilir bir içerik sağlamak için olmazsa olmaz olduğunu hissediyordu. Dahası,

mutlak uzay Newton'a göre tanrısal aynı anda her yerde olabilirliği gösteriyordu. *Optics*'indeki Sorular kısmında şunları buluruz:

> Olgulardan cismi olmayan, yaşayan, akıllı, aynı anda her yerde olabilen, (kendi duyularının algı alanında olan) sonsuz uzaydaki herşeyin kendisini yakından görebilen ve bunları tamamıyla algılayabilen ve bunları kendi önünde bulunmalarıyla anında bütünüyle kavrayabilen bir Varlık'ın var olduğu gözükmüyor mu?[21]
>
> . . .
>
> Vahşi hayvanların ve böceklerin içgüdüsü, her yerde var olduğu için kendi sınırsız düzgün duyu sisteminin içindeki bütün cisimleri kendi iradesiyle hareket ettirmekte ve dolayısıyla Evren'in parçalarını oluşturmak ve yeniden şekillendirmekte, bizlerin kendi bedenlerimizin öğelerini kendi irademizle hareket ettirmemizdekinden daha yetenekli, güçlü, sonsuza dek yaşayan, değiştirebilen bir kuvvetin aklından ve becerisinden başka bir şeyin sonucu olamaz.[22]

Newton'un daha dindar eğilimlere sahip meslektaşlarının birçoğu, uzayın Tanrı'nın duyu sistemi olarak düşünüldüğü bu yorumu severek kabul ettiler ve onun bilimi dinsizlikten kurtardığını öne sürdüler.[23]

Bununla birlikte, Newton'un çağdaşlarının tamamı onun uzayın doğası hakkındaki fikirlerini kabul etmedi. İngiliz düşünür George Berkeley (1685-1753), Hollandalı bilim adamı Huygens ve Alman matematikçisi-düşünürü Leibniz mutlak uzay ve mutlak hareketin kurgu olduğuna inandılar. Uzay mutlaksa, Tanrı'dan ayrı, sonsuz olan, değiştirilemeyen ve dolayısıyla, sonsuza dek var olacak başka bir şey olacağından uzayın dinbilim açısından değerlendirildiğinde göreceli olmak dışında bir şey olması Berkeley için anlamsızdı. Leibniz, hem mutlak uzayın varlığına hem de onun Tanrı ile özdeşleştirilmesine şiddetle karşı çıktı. Leibniz, kendisiyle Newton'un destekçisi olan Dr. Samuel Clarke (1675-1729) arasında uzun süre devam eden yazışmalarda, maddesel cisimlerin kendi aralarındaki ilişkilerin uzay kavramı için kendi başına yeterli olduğunu ve mutlak uzayın gerekli olmadığını öne sürdü. Arada, kişiler arasındaki akrabalık

ilişkilerini, onları taslaktaki belirli konumlara yerleştirerek gösteren soy ağacıyla bir benzerlik kurdu. İnsan böyle bir sistemin varlığını hipotez olarak öne sürüp, onunla doğal olarak ilgili olan kişilerden bağımsız olarak onu mutlak olarak neden var etsindi? İçinde madde olmayan bir uzay onun için anlamsızdı.

Bu görüşle Newton'unki arasındaki temel fark şudur: Newton'a göre uzay tüm maddi cisimleri içinde bulunduran bir kaptı ve madde olmadan da var olabilirdi. Aynı zamanda cisimleri (uzaydaki farklı konumları sayesinde) bireyselleştirmekte de kullanılırdı.[24] Leibniz'e göre, uzay maddi cisimlerin konumsal niceliğiydi ve madde olmadan düşünülemezdi.[25]

11.5 Fiziksel Uzaylara Karşı Matematiksel Uzaylar

Büyük matematikçi Euler, mutlak uzayın gerekli olduğuna inandığı ve eylemsizlik yasasının mantıksal gerekliliğini göstererek, var olduğunu önsel olarak kanıtlamaya çabaladığı halde, mekanik konusunda öne çıkan Fransız yazarları - Lagrange, Laplace ve Poisson - mutlak uzaya ciddi anlamda bir ilgi göstermediler. Onlar için bu, yalnızca kuramsal doğrulanma gereksinmeyen işler halde bir hipotezdi. Mach, bilimden bütün gerçek üstü aksiyomların çıkarılması gerektiğine inanıyordu. Ona göre, daha sonra Einstein tarafından da tekrarlandığı gibi, etki eden ama üzerine etki edilemeyen bir mutlak uzay kavramı bilimsel düşünceye aykırıydı. Mach, bir kütlenin ivmelenmeyen hareketini, uzayın kendisi yerine bütün evrenin kütle merkezine bağladı. Bu gözlemlenemez mutlak eylemsiz koordinat sistemine karşı çıkış, daha sonra Einstein tarafından Galilei'nin çalışmaları hakkında konuşurken yinelenmişti.

> Galilei'nin ağır cisimlerin düşüşünü açıklamak için kullanılan evrenin bir merkezi olması hipotezini kabul etmeyişi ile maddenin eylemsiz davranışını açıklamak için kullanılan eylemsiz bir sistem hipotezinin kabul edilmeyişi arasında yakın bir benzerlik olduğunu da burada yeri gelmişken belirteyim. (İkincisi genel görelilik kuramının temelidir.) İki hipotezde de

ortak olan aşağıdaki özelliklere sahip bir kavramsal nesnenin ortaya çıkarılmasıdır:

(1) Kayda değer bir madde (ya da bir 'alan') gibi gerçek olduğu varsayılmamıştır.
(2) Gerçek cisimlerin davranışlarını belirler ama onlardan herhangi bir şekilde etkilenmez.

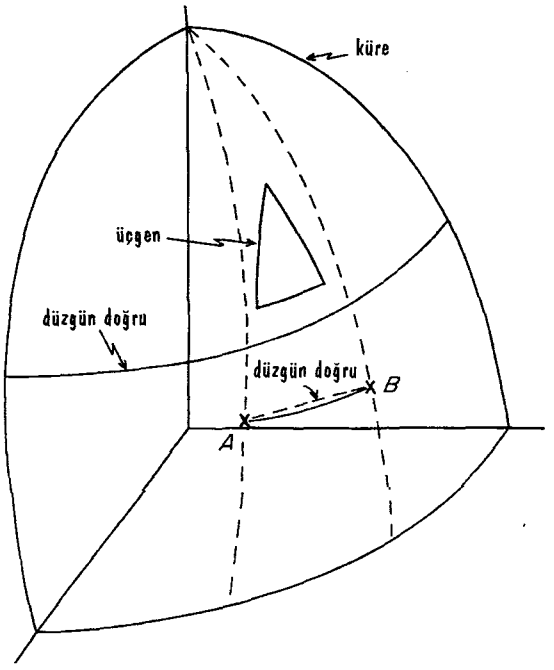
Böylesi kavramsal öğelerin ortaya konulması, katıksız bir mantıksal bakış açısı bakımından tamamen kabul edilemez olmadığı halde, bilimsel içgüdüyle çelişkilidir.[26]

Benzer bir tutum içinde, bir kuramın, içinde ilkesel olarak gözlemlenemez ya da ölçülebilmesi için bir yöntem belirtilemez, kendi başına var olan varlıklar içermemesi gerektiği konusundaki ısrar, pozitivizm ya da mantıksal ampirisizm adındaki düşünsel hareketin içinden çıkıp büyüdüğü zeminin bir parçasıydı. 1920lerde Viyana Okulu olarak anılan (aralarında Moritz Schlick (1882-1936), Rudolf Carnap (1891-1970), Philipp Frank (1884-1966) ve Kurt Gödel (1906-1978) de bulunan) bir grup düşünür herhangi bir önermenin, yalnızca deneyimi ve gözlemi temel aldığı kadar anlamlı olduğuna inanıyordu. Bu ölçüte göre, ahlaki, fizik ötesi ve dini ifadeler, hiçbir nesnel anlamları yokmuş gibi kabul edilebilirlerdi. Bu, daha öncesinde diğer yönde (örneğin, Aristo fiziğinde dairesel hareketin 'öncesiz sonrasız' doğasının gezegenlerin yörüngelerinin daireler olmalarını gerektirmesinde) etki durumlarını gördüğümüz gibi, bilimin kültür ya da felsefe üzerindeki etkisine bir örnektir.

Mutlak uzayın ve mutlak hareketin fiziksel olarak ortaya çıkarılamayacağı bir kez anlaşıldıktan sonra, giderek daha fazla sayıda bilim adamı bu kavramların kesin bilimden çıkarılması gerektiğini düşündü. Mutlak bir koordinat sistemini kurtarmak için yapılan son girişim, onu on dokuzuncu yüzyılın sonunda eter ile özdeşleştirmekti. Bu, 13. ve 16. konularda göreceğimiz gibi, başarısız oldu ve Einstein'ın özel görelilik kuramına ulaşılmasına yol açtı. Bununla birlikte, fiziksel uzay, mutlak uzay kavramı tamamen terk edildikten sonra

bile, hâlâ bir süre daha Öklit uzayı (ya da bilinen düzlem ya da katı cisimler geometrisindeki anlamıyla düz uzay) olarak düşünüldü. Matematikçi Carl Gauss (1777-1855) Öklit olmayan geometrinin mantıksal olarak tutarlı bir olasılık olduğunu ve fiziksel dünyanın geometrisinin türüne yalnızca deneyle karar verilebileceğini fark etti. Doğrudan gözlemle Öklit geometrisinden bir sapma bulma girişiminde bulundu, ama başarılı olamadı. Bernhard Riemann (1826-1866) fiziksel dünyadaki uzayın (ya da geometrinin) yapısının maddenin dağılımı tarafından belirlendiği görüşüne dolaylı yoldan ipucu sağladı ve Einstein da bu görüş için inandırıcı kanıtlar sundu. Burada, kanıtlanması gereken bir varsayımın (Öklit uzayının) doğru olabilmesi için, basit olması ölçütünün yanlış yönlendirebileceğini kanıtlayan bir durum söz konusudur. Tabii ki, daha öncesinde Kısım 11.1'de gördüğümüz gibi, basit olduğu görünen bir şey, genellikle birinin geçmişten gelen bilgisine ve düşünsel tercihlerine bağlıdır. Basit olmanın genel olarak kabul görmüş, nesnel ölçütlerinin var olmadığı görülüyor. Dolayısıyla, bir kuramın ya da hipotezin ortaya konmasında ve geliştirilmesinde basit olmanın, yalnızca harcanan çabada sağlanacak tasarruftan çok gerçeğe giden yolda bir rehber olması oldukça öznel olabilir.

Newton ve Leibniz arasındaki temel sorun, fiziksel uzayı matematiksel uzaydan ayırt etmekteydi. Herhangi bir fiziksel gerçeklikten tamamen ayrı olarak, zihinsel ve mantıksal açıdan kendi başına var olan ve Öklit uzayı diye adlandırılan bir yapı kurulabilir. Bu, düzlem geometrisinde herkes tarafından iyi bilinen olağan uzaydır. Gauss ve Riemann'ın on dokuzuncu yüzyılda fark ettikleri gibi, mantıksal olarak ve tutarlı bir biçimde başka tür matematik uzayları da inşa edilebilirdi. Fizik için konuyla ilgili olan soru, fiziksel uzayın, içindeki maddeden bağımsız olarak, kendi başına var olabilmek açısından matematiksel uzaya benzeyip benzemediğidir. Durum Newton için böyleydi ve fiziksel uzay Öklit uzayıyla özdeşleştirilmişti. Einstein, 18. Konu'da göreceğimiz gibi, fiziksel uzayla maddenin birbirlerinden ayrılamaz bir biçimde bağlı olduklarını postüle etti. (Çok farklı nedenlerden ötürü olmakla birlikte, Platon'un da benzer bir inanca sahip olduğunu hatırlayınız.)



Şekil 11.5 Bir kürenin yüzeyi üzerinde geometri

Öklit olmayan bir uzayın ne olduğu konusunda fikir edinebilmek için, düzlemden farklı bir iki boyutlu yüzey üzerinde yaşamı ele alalım. Herhalde en basiti, yüzeyin küre olması durumudur. Bir kürenin yüzeyinde yaşayan (yüzeyden yukarı ya da aşağı yönde gidemeyen) iki boyutlu yaratıklar olsaydık, düzlem Öklit geometrisinde geçerli olan 'yasaların' ve teoremlerin büyük bir kısmı artık doğru olmazdı. Şekil 11.5'te de görüldüğü gibi, 'düzgün' bir doğru üzerinde yeterince uzun bir mesafe alsaydık, en sonunda düzlemde olacak olana aykırı bir biçimde başlangıç noktamıza geri dönebilirdik. Bir kürenin yüzeyinde çizilmiş bir üçgen ('düzgün' doğrular tarafından sınırlandırılmış üç kenarlı bir şekil) için iç açıların toplamı 180°'den fazla olur. (Aslında, bu toplamın 180°'den farkı yüzeyin eğriliğinin bir ölçüsüdür.) Pythagoras'ın teoremi de artık geçerli değildir. Kürenin yüzeyindeki iki A ve B noktası arasındaki en kısa mesafe, kürenin hacmi içinde bir tünel açılmasını gerektireceğinden, gerçek bir düzgün

doğru ile betimlenemez. Bundan ziyade, yüzeyin kendisi üzerindeki AB yayı, kürede A'dan B'ye uzanan en kısa yol olacaktır. Son olarak, bu küresel yüzeyin sınırları yoktur, ama kürenin yarıçapı R ise sonlu $4\pi R^2$ kadar bir yüzey alanı vardır. Lucretius'un uzayın sonsuzluğuyla ilgili savı bu durumda kesinlikle geçerli olmayacaktır. Cirit, yalnızca yüzey boyunca gidip başlangıç noktasına geri dönecektir.

Bu mantıksal açıdan olası matematiksel ve fiziksel uzay örnekleri, 'sezgilerimize' karşı kanıtlar sağlarlar. Günlük deneyimlerimize dayalı saf beklentilerimiz fiziksel gerçeklik tarafından tam olarak tatmin edilmeyebilirler. Uzayın türü gibi son derece 'açık' sorunlar, en sonunda doğrudan gözlemle ve deneyle yanıtlanabilen (en azından kısmen) gözlemsel sorulara dönüşebilirler. Uzayın temelini oluşturan yapı o uzayda yapılabilecek olası geometrik ya da fiziksel işlemlere mutlaka etki eder.

Yine de, birçokları uzay hakkındaki bu tür modern görüşlerin dünyamızın kelimesi kelimesine doğru temsilleri olarak kabul edilmelerinden rahatsız olabilirler. Kuramsal fizikçi Felix Bloch (1905-1983) daha genç biriyken, o zamanlar çoktan efsaneleşmiş olan Werner Heisenberg'le (1909-1976) arasında geçen bu konu hakkındaki eğlenceli bir sohbeti anımsayarak anlatır:

> Birlikte yürüyüşe çıkmıştık ve her nasılsa uzay hakkında konuşmaya başladık. Weyl'in *Uzay, Zaman ve Madde* adlı kitabını yeni okumuştum ve onun etkisi altında uzayın yalnızca doğrusal işlemlerin alanı olduğunu gururla belirtmiştim.
> 'Saçmalık' dedi Heisenberg, 'uzay mavidir ve içinden kuşlar uçar.'[27]

Yararlı Kaynaklar

Stanley Jaki *Fiziğin Uygulanabilirliği* adlı eserinde, batı düşünce tarihini çerçeveleyen birleşik bir resmi dokur ve bu bilimin genelliğini ve aynı zamanda da yetersiz kaldığı noktaları gösterir. David Park *Nasıl ve Niçin* adlı kitabında, fiziksel kuramın kökenleri ve gelişimi

hakkında olağanüstü bir öykü anlatır. Max Jammer'ın *Uzay Kavramları* adlı eseri, fizikteki uzay kuramlarının bir tarihidir ve bu konuda anılan uzayın iki kavranılış biçimiyle ilgili Einstein tarafından yazılmış gerçekten de aydınlatıcı bir Önsöz içerir. Alexandre Koyré'nin *Kapalı Dünyadan Sonsuz Evrene* adlı kitabı, evrenimizin doğası hakkındaki daha çok on altıncı ve on yedinci yüzyıllardaki fikirlerin gelişiminin tarihi konusunda bir klasik haline gelmiştir.

12

Bilime Dayalı Bir Dünya Görüşü: Belirlenimcilik

Daha önce 3. Konu'da belirttiğimiz gibi, genellikle nesnel bilimsel girişim olarak görülen şeyin en derin temellerinde bir inanç öğesi vardır. Bilim, doğadaki sayısız olayları açıklayan temelde basit yasaların var olduğunu geleneksel olarak kabul edegelmiştir. Bu bir inançtır ve bilim bunun doğru olduğunu kanıtlayamaz. Batı düşünce tarihi boyunca, doğadaki olayları basit birkaç yasaya ya da ilkeye indirgeme eğilimi var olagelmiştir. Bunun böyle olmasının açık bir güdüsü, dünyayı bize anlaşılabilir görünür kılmaya duyulan gereksinimde ya da istekte bulunuyor olabilir. Bugün günümüz insanının bilime dayalı bir dünya görüşüne sahip olduğu ve bilimin dinin yerini aldığı savıyla karşılaşmak artık olağandışı değildir. Bu dünya görüşü, doğanın temel yasalarında temel bir basitliği kabul edişine ek olarak aklın (ya da ruhun) bağımlı (böyle bir şey varsa eğer) bir gerçeklik verilmiş olması dolayısıyla, bütün evrenin maddeden ve maddenin etkileşimlerinden oluştuğunun düşünülmesi bağlamında, sık sık düşünsel olarak maddeci olmakla nitelendirilir. Kuantum mekaniğinin, modern bilimin düşünsel maddeciliğinin bu yönünü değiştirdiğine genel olarak inanılsa da, dünyanın böylesi bir betimlemesi, özellikle geçmişte yazılmış belgelerde, tipik olarak tamamen belirlenimci (ç.n.: insanın davranışları, kararları ya da yaşadıkları dahil,

her şeyin daha önce olanların kaçınılmaz sonucu olduğunu savlayan düşünsel öğretiye uygun, deterministik) diye alınır. (Kuantum dünyasında belirlenimcilik ve belirlenimci olmamak arasındaki karşılaştırmaya 21.-24. konularda tekrar döneceğiz.)

Bu konuda, bilimin nasıl böylesi bir dünya görüşüne ulaştığının sistemli değil, tersine izlenimci bir özetini vermekle başlayacağız. Bu özetin bir kısmı daha önceden gördüğümüz malzemelere değinecek. Daha sonra son on yıllar sırasında belirlenimci kaos (ç.n.: matematikte başlangıç koşullarına büyük duyarlılıkla bağlı dinamik bir sistem) alanındaki çalışmalarda kaydedilen gelişmelerin ışığında öğrenildiği gibi - klasik mekanikte bile - belirlenimciliğin konumuyla ilgili bakış açısındaki temel değişiklik üzerine tartışmalara geri döneceğiz.

12.1 Basit Yasalara Olan İnanç

Öykümüze, Küçük Asya'nın batı sahillerinden ve Ege Denizi'ndeki yakın adalardan oluşan antik bir bölge olan İyonya'da (MÖ altıncı ve beşinci yüzyıllarda) yaşamış bazı düşünürlerle başlıyoruz. Onlarla birlikte en sık anılan şehir Milet'tir. Öğretileri büyük oranda farklılıklar gösterebildiği halde, felsefeleri evrendeki bütün cisimlerin tek bir yapı maddesinden (ya da en fazla birkaç temel elementten) geldiğini öne süren maddeci bir felsefeydi. Gerçeklik olaylarını, kendilerinden önceki zamanlarda tipik olarak yapıldığı gibi, mitoloji yerine maddeyi ve fiziksel kuvvetleri kullanarak açıklamaya çabaladılar. İyonyalı düşünürlerin ilki Thales'ti. Yunan düşüncesini soyut geometriyle ilk olarak o tanıştırdı, MÖ 585'te olan Güneş tutulmasını önceden bildirebildiği öne sürülür. Thales ayrıca, suyu tüm maddeyi oluşturan temel element olarak kabul etmişti. Anaksimandros için evren boyut ve süre olarak sonsuzdu. Gökyüzü (gezegenler ve yıldızlar) için, Dünya'nın merkezinde olduğu, küresel bir model oluşturdu ve temel element olarak *sınırsız* denen oldukça belirsiz bir maddeyi aldı. Anaksimenes, Dünya'nın düz olduğunu kabul etti ve yıldızların bir çeşit gök yarıkürede sabit olarak durduklarına (bu ikinci fikir gökküre biçimine dönüşerek Galilei'nin zamanına

dek yaşamaya devam etti) ve evrenin temel elementinin hava olduğuna inandı. Heraclitus (MÖ ~540–~480), ateşi evrenin ana elementi olarak ele aldı ve sürekli değişimin, ateşin değişken doğasıyla ilintili olarak, olayların en önemli özelliği olduğu üzerinde durdu. Anaksagoras (MÖ ~500–~428), bildiğimiz haliyle, evrendeki ayrım gözetilmemiş karışımla karşılaşmada tek düzenleyicinin Akıl olduğunu öğretti. Bu kavramların birçoğu Leucippus'un (~ MÖ 450) ve onun en ünlü öğrencisi olan Democritus'un atomculuğuyla çok güzel uyuşur.[1]

Bir başka geleneğin - ki bu geleneğin Platon'un çalışmalarına etkisi büyük olmuştur - kökenleri Pythagoras'a (MÖ ~580–~500) kadar gider. Yunanistan'da Samos'ta doğduğu halde daha fazla düşünce ve öğretim özgürlüğü sağlayan güney İtalya'ya MÖ 532 yılı sıralarında göç etti. Felsefesi, doğaya evreni anlamak için gereken temel varlığın sayı olduğu noktasını özellikle öne çıkarmaya dayanan, birleştirici bir bakış açısı vermeye çabaladı. Bu felsefe bazen, var olan tüm cisimlerin maddeden değil, formlardan oluşturulduğu anlamında 'her şey sayıdır' sözüyle tanımlanır. Kozmolojisinde onluğu oluşturan dörtlü dizilere (1 + 2 + 3 + 4 = 10, 'mükemmel' sayı olduğundan 1, 2, 3, 4 dizisine) temel bir rol verilmişti. Önemli dörtlü dizi örnekleri şunlardı:

nokta, doğru, yüzey, cisim (ç.n.: üç boyutlu cisim);

toprak, su, hava, ateş.

Eğitimde klasik dört temel disiplinin (geometri, aritmetik, astronomi ve müzik) (ç.n.: Orta Çağ'da güzel sanatların yedi dalının bir üst bölümünün) kökeni buradaydı. Pythagoras'ın, kulağa hoş gelen müzik aralıklarının 1, 2, 3 ve 4 içeren basit oranlarla gösterildiğini keşfettiğine inanılır. Felsefesinde uyum önemliydi ve üstadın gökteki kürelerin uyumunu duyabildiğine inanılıyordu. Pythagorasçı kardeşliği kurdu. Bu okul matematiğin önemini kavradı ve Batı'nın rasyonel düşünce geleneğinin yapısını kurmaya başladı. Onlarınki

doğanın önsel (ç.n.: İngilizce 'a priori', öncesinde haklılığı gösterilemez) matematiksel-gizemli varsayımlara dayalı bir açıklamasıydı. Uyum ve sayma sayıları (ya da tam sayılar) Pythagorasçılar için o kadar önemliydi ki, irrasyonel sayıların keşfini kendi aralarında sır olarak saklamaya çalıştıkları ve bu sırrı açığa çıkardığı zaman kendi üyelerinden birini ölümle cezalandırdıkları anlatılır. (İrrasyonel sayılar (örneğin $\sqrt{2}$) iki tam sayının oranı olarak ifade edilemeyen sayılardır.) Pythagoras'ın öğretilerinin bu basit bir birleştirici ilke yönü, Platon'un ve öğrencilerinin çalışmalarında iz bıraktı. Örneğin, Aristo'nun görüşüne göre, temel doğal hareketler, her biri kendi amacı için en basit olduğu için, düzgün doğrusal ve düzgün dairesel hareketlerdi: Sırasıyla, sonlu bir sürede sınırlı hareket ve sonsuza dek süren, değişmeyen hareket.

Şimdi zamanda bir hayli ileri gidiyoruz. Ockhamlı William (Platon'un formlar kuramına karşıt olarak), evrensellerin bağımsız var oluşunu yadsıyan nominalizmi (ç.n.: soyut kavramların, genel terimlerin ya da evrensellerin kendi başlarına var olamayacağını ve yalnızca isimler olduklarını öne süren öğreti) kuran etkili bir on dördüncü yüzyıl Skolastik (ç.n.: Orta Çağ boyunca batıda baskın Hıristiyan dinbilim ve felsefe akımının izleyicisi) düşünürüydü. Tutum ya da eli sıkılık yasası (ç.n.: bir kuramın oluşturulmasında ya da verilerin yorumlanışında en basit varsayımın göz önünde bulundurulması ilkesi) ona özgün gelmese de bunu çalışmalarında sık sık kullandı. Bugün bu kavramı, yazılarında tam olarak '*non sunt multiplicanda entia praeter necessitatem*' ('(ç.n.: tek ve bağımsız) varlıkların sayısı gerekmedikçe çoğaltılmamalıdır') biçiminde bulunmadığı görülüyor olsa da, onun bu ünlü "usturası" ile belirtiyoruz. Daha kısa ve özlü olarak söylemek gerekirse, ana fikir 'en iyi açıklama, işe yarayanlar arasında en basit olanıdır' kanısıdır. Aynı tutum içindeki Kopernik, Ptolemaios'un ekuantına, büyük oranda bu estetik temel üzerinde karşı çıktı ve gezegenler için (fakat şimdi merkezde Dünya yerine hareketsiz duran bir Güneş ile) düzgün dairesel hareketin yalınlık gibi bir kusursuzluğu olduğuna inandı. Güneş etrafında eş merkezli dairesel yörüngeler cinsinden betimlemesi Ptolemaios'unkine göre

nitel düzeyde daha yalındı. Öte yandan Kepler, Kopernik'in kuramını Ptolemaios'unkine yeğlerken, daha çok gizemli gerekçelere sahipti. Kopernik'in kuramı, özgün yalın halinde nicel olarak gözlemlerle desteklenmiyordu. Kepler'in belirli bazı düşünsel eğilimleri olduğu halde, deneyle ya da gözlemle uyuşmayı, sonucu kesinleştiren bir test olarak kullandı. En sonunda dairesel hareketi reddetmesine ve gezegenlerin yörüngelerinin şeklinin elips olduğunu keşfetmesine yol açan tam olarak bu ölçüttü. Bir kez bu gerçekleştirildikten sonra, büyük bir yalınlık ve tutum açığa çıkıyordu. Bacon, *Yeni Organon*'unda, insan doğasında bulunan arzularımızı ve ümitlerimizi deneysel gerçekleri betimleyişimizde ve açıklayışımızda kullanma eğilimine karşı direnilmesi gerektiği konusunda insanları uyardı. Önceden sezerek bir şeyi ummak ile gözlem yapmak arasındaki karşıtlıktan bahsetti. Tembihlediği gibi önsel olandan uzak durulmalıydı ve doğa, bize ne anlatmak istediğini görmek için incelenmeliydi. Ona göre, duyulardan elde edilen verilerin, kuramsal yapılar üzerinde öncelliği bulunmalıydı.

Galilei, fizikte çözümleme ve tümevarım yöntemlerinin açık bir biçimde belirtilmelerine yardım etti. Düzenlilik içeren yalın, derli toplu bir dünyanın var olduğunu varsaydı. Doğanın kitabının matematik dilinde yazıldığı hakkındaki sözünü hatırlayınız (bakınız Kısım 11.1). Newton, *Principia*'da verdiği *Felsefede Akıl Yürütme Kuralları*nda, aslında Ockham'ın "usturasını" yalınlığın bir ölçütü olarak belirtti:

> Doğal şeylerin nedenlerinden oluşumlarını açıklamak için hem doğru hem de yeterli olmayanları kabul etmeyeceğiz.[2]

Gerekmeyen hiçbir şeyin var olmadığını belirten yeterli neden ilkesi, Leibniz'in felsefesi için çok önemliydi. Bu, olası bütün dünyaların içinde en iyisiydi. (Fransız taşlama yazarı François-Marie Voltaire (1694-1778) *Candide*'i bu inanca karşı alaycı bir yanıt olarak yazdı.) Leibniz'e göre doğada belirli bir tutum vardı. Aynı tema, Pierre-Louis de Maupertuis'in (1698-1759) çalışmaları için çok önemliydi. Doğanın, her zaman bir şeyleri en aza indirgemek için, uygun

bir şekilde davrandığına inandı. Mekanik için, *aksiyon* (*eylem*) adını verdiği bu şeyin, kütle, hız ve uzaklığın çarpımı olduğunu varsaydı. Mekaniğe dinbilimsel bir temel oluşturmaya çabaladı. Maupertuis, bu ilkesinden çeşitli deneysel olarak doğrulanabilir sonuçlar elde ettiğini öne sürdü, ama bunlar sık sık kesin olarak elde edilemiyorlardı ve belirli bir miktarda 'uydurulmuş' oluyorlardı. Bununla birlikte, Euler ve Lagrange, Maupertuis'un bu belirsiz fikrine kesin, matematiksel olarak tutarlı bir şekil verdiler. Örneğin, bir cisim bir kürenin yüzeyinde bulunmak zorunda bırakılır ve bu cisme ani bir itme uygulanırsa, ilk konumundan son konumuna doğru gidiş süresini en aza indirecek (kürenin yüzeyinde yer alan) bir yol izler. Euler, Maupertuis'in dinbilimsel görüşünü sürdürdü ve olayların yalnızca nedenler cinsinden değil, aynı zamanda amaçlar cinsinden de açıklanabileceğine inandı. Evren kusursuz bir Tanrı'nın eseri olduğuna göre, doğada bu en yüksek ya da en düşük olma özelliğini göstermeyen hiçbir şeyin olamayacağına inandı. Euler'in programına göre, doğanın bütün yasaları bu en yüksek ya da en düşük olma ilkesinden elde edilebiliyor olmalıydı. Newton'un ikinci hareket yasasının böyle bir ilkeden çıkartıldığı gerçeği, bu sava büyük bir destek vermişti. Bugün fizikte yaygın hale gelen (ancak dinbilimsel süslerinden ayrılmış) varyasyonel ilkelerin kullanımının başlangıcı buydu. Temel olarak, Maupertuis'in aksiyonu gibi bir niceliğin, bir sistemin hareketi süresince en düşük değerinde tutulduğu kabul edilir ve bundan sistem için hareket yasaları çıkarılır. Mach, bilimin amacını, doğadaki olayları en yalın ve en tutumlu biçimde betimlemek biçiminde gördü. Tüm önsel ve doğaüstü önermeler bilimden elenmeliydi.

Doğanın temel ve yalın yasalarını kurmak ya da keşfetmek için, çok uzun bir süreye yayılmış bu yinelenen girişimler, onlarla betimlediğimiz dış doğa hakkında söylediklerimizden daha fazlasını bizim hakkımızda söylüyor olabilir. Her şeyi içeren mükemmel açıklamalar kurmak ya da bulmak gereksinimi hissettiğimiz görülüyor ve bu açıklamaların yaşamı sürdürme açısından değeri olduğu konusu ileri sürülebilir (bu tema Fransız bilim felsefecisi Émile Meyerson (1859–1933) tarafından yirminci yüzyılın ilk yıllarında geliştirildi[3]).

Yalın yasaların var olduğuna olan inancın, doğanın doğru ya da gerçek yasalarının (deneysel yeterlilikle birlikte) değerlendirilmesinde bir ölçüt olarak nasıl kullanıldığını böylece gösterdikten sonra, şimdi tipik olarak klasik mekanikle birlikte düşünülen belirlenimci dünya görüşünün kökenini inceleyelim.

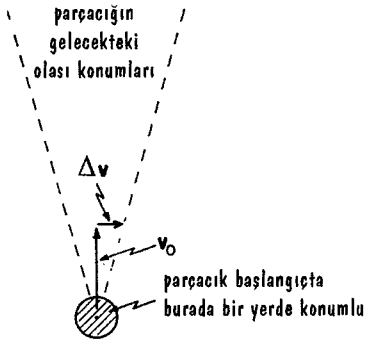
12.2 Belirlenimciliğin Anlamı

Newton öncesi dünya, doğa hakkında birçok gizemin bulunduğu oldukça insan merkezli bir dünyaydı. Maddesel evren, Newton'dan sonra, ilke olarak tamamen belirlenimci olarak görülür oldu. Başka bir deyişle, tüm parçacıkların başlangıç konumları ve hızları tam olarak verildiğinde $\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$ yasası, $\boldsymbol{F}$ kuvvetlerinin bilindikleri kabul edilirse, ileride izlenecek bütün yolları gelecekte sonsuza dek kesin olarak belirler. Bunu Kısım 9.2'de ele almıştık. Orada, $\boldsymbol{r}_0$ ve $\mathbf{v}_0$ başlangıç koşulları belirtilmişken, bir cismin izlediği $\boldsymbol{r}(t)$ yolunun gelecekte tamamen belirlendiğini düşünmüştük. Bunu, N parçacıktan oluşan bir küme için beklenen bir sonuca, aşağıdaki gibi genelleyebileceğimizi umabiliriz:

$$\left.\begin{array}{l} \boldsymbol{r}_j(t_0) \\ \mathbf{v}_j(t_0) \\ F_j = m_j a_j \end{array}\right\} \Rightarrow \boldsymbol{r}_j(t), j = 1,\ 2, \ldots,\ N \qquad (12.1)$$

Bu akla oldukça yatkın duruyor ve iyi özelliklere sahip geniş bir kuvvet sınıfı için de matematiksel olarak kanıtlanabilir. Bununla birlikte, fizikte önemli olan bazı (çok cisimli sistemlerde karşılıklı kütleçekim etkileşimleri gibi) tekil haller vardır ve bunlar için bu sonuç kanıtlanamaz. Aşağıda bu zorluklardan bazılarına döneceğiz. Yine de, oldukça yakın zamana kadar (en azından klasik mekanik için) genel olarak kabul gören (fazlasıyla) iyimser bakış açısını şimdilik elden bırakmayalım.

Doğal olarak, kesin başlangıç koşullarını tam olarak bilemememizden kaynaklanan bir belirsizlik olabilir. Örnek olarak, bir parçacığın $t = 0$ anında Şekil 12.1'de belirtilen taralı alan içinde bir



Şekil 12.1 Başlangıçtaki belirsizliklerin büyümesi ve yayılması

yerlerde bulunduğunu ve başlangıç hızının $\Delta \mathbf{v}$ kadar bir belirsizlikle $\mathbf{v}_0$ olduğunu bildiğimizi varsayalım. Parçacık üzerine hiçbir kuvvet etki etmiyor olsa bile, gelecekte bir anda parçacığın kesin yerinden emin olamayız. Yalnızca kesin olmayan başlangıç verilerimizle tutarlı (Newton'un hareket yasalarına göre) olası bütün gelecek konumlarını içeren koni içerisinde bir yerlerde olacağını söyleyebiliriz. Zaman ilerledikçe parçacığın tam olarak nerede olduğu hakkındaki fikrimiz gittikçe daha da azalır. Bu klasik istatistiksel belirsizlik, uygulamada rastlanılan (başka bir deyişle, fiziksel dünyanın kendisinde değil dünya hakkındaki bilgimizde bulunan) ama genel anlamda olmayan bir belirsizliktir. Bu, üzerinde 20. Konu'da konuşacağımız gibi, çoğunlukla kuantum mekaniğiyle birlikte düşünülen, özünde doğal olarak var olan belirsizlikten farklıdır.

On yedinci yüzyıldaki bu mekanik belirlenimcilik, tanrısal önceden olacakları bilme inançlarını güçlendirdi. (Genel olarak) matematiksel fiziğin denklemlerindeki mutlak belirlenimcilik, aynı anda her yerde olabilen, her şeyi bilen bir Tanrı'ya olan genel olarak kabul edilen dinbilimsel inançla uyum içindeydi. Böyle bir inanç, Newton'un kendi matematiksel hareket yasalarını açık bir şekilde ortaya koymasından önce de vardı. Newton kesinlikle böylesi bir Tanrı'nın var olduğuna ve belirtildiği gibi davrandığına inandığı halde, yalnız başına mekanik yasalarının kararlı bir evrenin belirlenimci evrimini betimleyebileceğinden çok emin değildi. *Optics*'indeki Sorular

kısmında da belirtildiği gibi, Newton'un görüşü, mekanik evrenin onu yalnızca yaratıp düzenleyerek değil, aynı zamanda onu iyi halde tutup devam ettirerek etkin bir biçimde ona müdahale eden Tanrı'ya gereksinimi olduğuydu.

> Kuyrukluyıldızlar hangi amaç için varlar ve gezegenlerin hepsi nereden geliyor da eş merkezli kürelerde bir ve aynı biçimde hareket ediyor ve bu sırada kuyrukluyıldızlar oldukça dış merkezli kürelerde her türlü şekilde hareket ediyorlar ve *sabit yıldızların birbirleri üzerine düşmelerini ne engelliyor*?[4]
>
> . . .
>
> Çünkü onları bir düzen içine koyup [bütün maddi şeyleri] yaratan O oldu. Ve eğer O öyle yaptıysa, Dünya için başka bir başlangıç aramak ya da sırf doğanın yasalarından - ki bir kere oluşturulduktan sonra bu yasalarla çok uzun zamanlar boyunca sürüp gidebilse bile - ileri gelen bir kaos sonucu Dünya'nın ortaya çıktığını düşünüyormuş gibi yapmak hiç felsefi olmaz. Çünkü kuyrukluyıldızlar oldukça dış merkezli kürelerde konumların her türlüsünde hareket ederken, kör iman hiçbir zaman bütün gezegenleri eş merkezli kürelerde, kuyrukluyıldızlarla gezegenlerin karşılıklı olarak birbirleri üzerine olan etkileri sonucu ortaya çıkmış olabilen ve *bu sistem yeniden biçimlendirilmeyi isteyene dek* giderek daha da artmaya yatkın olabilecek bazı önemsiz düzensizlikler hariç, bir ve aynı biçimde hareket ettiriyor olamaz.[5]

Newton, burada italik harflerle yazdığımız cümlelerde 18. Konu'da tekrar döneceğimiz bir soruya, Güneş Sistemi'nin kararlılığına değiniyor.

On sekizinci yüzyılın ikinci yarısına gelindiğinde, mutlak belirlenimcilik ve mekanik evrenin kendi kendine yeterliliği, birçokları için dinin kabul edilmiş bir fıkrası olmuştu. Bu klasik belirlenimcilik, küçük sapmalar kuramı hesaplamalarını kusursuzlaştıran ve bunları Güneş Sistemi'nin kararlılığını öne sürmede kullanan büyük matematikçi ve kuramsal gökbilimci Laplace tarafından cesurca ifade edilmişti. Laplace, *Olasılıklar Üzerine Felsefi Denemeler* adlı eserinde görüşlerini aşağıdaki gibi dile getirmişti:

> Bütün olaylar, ki önemsizlikleri yüzünden doğanın büyük yasalarına uymadıkları görülenler bile, tıpkı Güneş'in dönüş hareketlerinin olması ge-

> rektiği gibi, onun (ç.n.: doğa kastediliyor) sonucudur. Bu tür olayları evrenin bütün sistemiyle birleştiren bağlar görmezden gelinirken, meydana gelişlerine ve düzenlilik içinde yinelenişlerine ya da herhangi bir düzen içinde olmaksızın ortaya çıkışlarına göre son nedenlere ya da karmaşık sonuçları olabilen rastlantılara bağlı hale getirilmişlerdir; fakat bu hayali nedenler, sınırları genişleyen bilgiyle giderek geriye düştüler ve onlarda yalnızca doğru nedenlere olan bilgisizliğimizin açıklamasını gören sağlam felsefenin önünde tamamen yok oldular.
>
> Şu anki olaylar onlardan önce gelenlerle, bir şeyin onun oluşmasına yol açan bir neden olmaksızın meydana gelemeyeceğini belirten açık ilkeye dayanan bir bağ ile bağlıdır. Bu yeterli neden ilkesi adıyla bilinen aksiyom ilgisiz olduğu düşünülen olaylar dizisine bile erişir.
>
> . . .
>
> O halde evrenin şu anki halini daha önceki halinin sonucu ve bunu izleyecek olanın nedeni olarak ele almalıyız.[6]

Benzer biçimde, *Olasılığın Çözümlemeci Kuramı* adlı eserinin 1814 yılındaki baskısının girişinde şunu buluruz:

> Eğer bir akıl, verilen bir anda Doğa'yı canlandıran bütün kuvvetleri ve onu oluşturan şeylerin her birinin birbirlerine göre konumunu görüp farkında olabilirse ve eğer bu akıl bütün bu verileri çözümlemek için de yeterince enginse, evrendeki en küçük atomunkilerin olduğu gibi, en büyük cisimlerin hareketlerini de tek bir formülle kavrayacaktır: Hiçbir şey onun için belirsiz olmayacaktır ve gelecek de tıpkı geçmiş gibi, onun görme gücü içinde yer alacaktır. İnsan aklı, gökbilime verebildiği kusursuzlukta böyle bir akıl için alçakgönüllü bir örnek sunar.[7]

Laplace'ın, İmparator Napoléon Bonaparte (1769-1821) onu *Gök Cisimlerinin Mekaniği* adlı ayrıntılı incelemesinde Tanrı'nın adını anıp anmadığı konusunda sorguladığında, 'Je n'avais pas besoin de cette hypothèse-là'[8] ('O hipoteze ihtiyacım olmadı') diye yanıt verdiği söylenir. Laplace'a göre Tanrı'mn evrenin işleyişinin sürdürülmesinde rolü yoktu.

12.3 Neden Otomatik Evren?

Klasik mekaniği tamamen belirlenimci ('otomatik' (ç.n.: başlıkta da kastedildiği gibi 'saat gibi tıkır tıkır işliyor' anlamında)) evrene olan inanç için örnek gösterilen bir garanti gibi alma eğilimi gösteririz. Şimdilik, evrenin (ya da sistemin) şu anki halini ve mekaniğin yasalarının evrenin gelecekteki halini tek bir şekilde belirlemesi gereksinimini *belirlenimcilik* için yaklaşık ve hazır bir tanım olarak kabul edelim. Tabii ki, 'hal' ve 'yasalar' ile tam olarak ne demek istediğimizi daha ayrıntılı bir biçimde anlatmalıyız. Fakat ilk önce, daha genel olarak, belirlenimciliğe olan bu inancın temelinde ne olduğunu soralım. Bir önceki kısımda belirttiğimiz gibi, Newton'un çağından önce yasa koyucu gibi görülen bir Tanrı aracılığıyla dinbilimsel bir temel çoktan vardı. Eğer biri evreni düzenli ve yasalarla belirlenmiş bir tarzla işleten bir Tanrı'yı kabul ederse, bu yasaları O'nun yarattıklarının edinimlerinde betimlendikleri haliyle keşfetmeye çalışmak o kişi için anlamlıdır. (Kısım 10.5'in sonunda Whitehead'in bu konudaki gözlemini hatırlayınız.) Buradaki nokta, evrenin yasalarla belirlenmiş bir evriminin olduğunun kabulüne olan eğilimin ya da inancın, fiziğin belirli bir çözümlemeci ya da matematiksel yasalar kümesinden önce var olduğudur. Dahası, Newton bir geçiş figürüydü. Fiziksel evrenin düzenli bir biçimde evrilmesinden sorumlu bir Tanrı'nın var olduğuna kesinlikle inanırken, *Principia*'sında betimlendiği haliyle matematiksel yasaların, fiziksel evrenin uzun vadede kararlılığını ve gelecekteki evrimini açıklamaya ya da tahmin etmeye kendi başlarına yeterli olacaklarına inanmıyordu. Newton'un mekanik yasalarının tam önceden kestirebilme kesinliği ve belirlenimciliği ancak Newton'dan sonra kabul edildi.

Newton'un yasalarının, mutlak belirlenimciliğe olan inancı haklı göstermek için kullanılabileceği bir akıl yürütme biçimine geri dönelim. Bir gezegenin kuvvet merkeziyle gezegen arasındaki kütleçekimin etkisi altında sabit bir kuvvet merkezi etrafındaki hareketini ele alın. İlgili yasalar, Newton'un ikinci hareket yasası ve evrensel kütleçekim yasasıdır. Şimdi temel soru, etkili bir uzun erimli önceden kestirebilme gücüne sahip olabilmemiz için, bu yasalar tarafından yönetilen

klasik sistemlerin belirlenimci bir şekilde evrilip evrilmedikleri ve bunların küçük sapmalara karşı kararlı olup olmadıklarıdır. Daha öncesinde ((12.1) denklemiyle gösterilen) açıkça belirtilmiş başlangıç koşullarının ve sistemin zamandaki evrimini yöneten yasanın birlikte gelecekteki herhangi bir t anında izlenecek $\boldsymbol{r}(t)$ yolunu tek bir biçimde belirlediği, sezgisel olarak çekici bir akıl yürütmeyi ana hatlarıyla özetlemiştik. Bununla birlikte, bunun $x = x(t)$ fonksiyonu için

$$\ddot{x} \equiv \frac{\mathrm{d}^2 x}{\mathrm{d}t^2} = f(x) \tag{12.2}$$

gibi bir diferansiyel denklem formuna girdiği için, genel olarak, çok zor bir matematiksel problem olduğunun farkında olmak gereklidir. $f(x)$, x'in karmaşık ve herhangi bir fonksiyonu olabileceği için, $f(x)$ üzerinde epeyce katı kısıtlamalar koymaksızın, görece az söz sahibi olunabilir.

Şimdi rastlantıya bakınız ki, Güneş etrafında hareket eden bir gezegenin merkezi-kuvvet problemi için (12.2) eşitliğine karşılık gelen denklem, yörüngeler olarak konik kesitler elde edilecek biçimde tam olarak çözülebilir. (Kısım 9.2'deki tartışmayı hatırlayınız.) O halde soru, kuşkusuz önemli olan bu örneğin klasik mekanikteki genel durumu temsil edip etmediği sorusudur. Yanıt, daha sonra klasik sistemlerdeki kaos konusunu ele alırken daha ayrıntılı olarak göreceğimiz gibi "hayır"dır. Tipik olarak (12.2) denkleminin formundaki yasalar tarafından yönetilen doğrusal olmayan sistemler için, etkili bir uzun vadede öngörüde bulunabilme gücünün yitirildiği sonucuna ulaşılır. (Az önce ele alınan merkezi $1/r^2$ kuvveti durumunda ulaşılan diferansiyel denklem doğrusal bir denkleme dönüştürülebilir; fakat bu sıra dışı, çok özel bir durumdur ve bu tür diferansiyel denklemler için genel kural değildir.)

Bununla birlikte, başa çıkabildiğimiz merkezi $1/r^2$ kuvvetinin üzerinde biraz daha duralım. Bu yörüngelerin küçük sapmalara karşı kararlı olup olmadıklarını sorabiliriz. Tartışmanın ana noktasını karartmamak amacıyla, matematiği olabildiğince basit tutmak için,

yalnızca dairesel yörüngelerin kararlılığı sorununu ele alabiliriz. Bu durumda çekici ve merkezi bir $1/r^2$ kuvveti için dairesel bir yörüngenin kararlılığını, sistem dairesel yörüngesinden (diyelim, yalnızca bir kez etki eden bir itkisel kuvvetle) çok az bir parça oynatıldığında ve sonrasında bir tek bu merkezi kuvvetin etkisi altında hareket etmesine izin verildiğinde kanıtlayabiliriz.[9] Daha genel bir kuvvet alanı için bu soru çok daha karışıktır ve kararlılığın korunacağı güvence edilemez. (Kısım 9.3'teki tartışmayı hatırlayınız.) Bu, mekanik bir sistemin uzun vadedeki kararlılığı sorununun oldukça hassas bir soru olduğunu gösterir. Yine de, az önce sözü edilen bu en basit durum için kararlılık sonucunun, oldukça yakın bir zamana dek gözlenmesi beklenen hareket biçimi için bir ayrıcalık olarak alınmaktansa, genel durumun temsilcisi olarak alındığını bir kere daha belirtelim.

Bilime ve özellikle de fiziğe inanmamızdaki güçlü nedenlerden biri, yasalarının bizlere kesin öngörülerde bulunabilme yeteneği vermesidir. Örnek olarak, mekanik ve kütleçekim yasaları, gezegenlerin ve kuyrukluyıldızların uzun süreli dönemlerdeki konumlarının anlaşılabilmesini sağlamışlardır. Bununla birlikte, Güneş Sistemi için sahibiymişiz gibi göründüğümüz uzun vadede öngörülerde bulunabilme gücündense, hava durumu gibi açık olduğu üzere, yalnızca kısa vadede (diyelim, en iyi olasılıkla iki ya da üç gün öncesinden) öngörülerde bulunabilme gücüne sahip olduğumuz başka fiziksel olaylar da vardır. Geleneksel bakış açısına göre, yalnızca birkaç kısımdan oluşan (örneğin, Güneş'in çevresinde hareket eden gezegenler) sistemler anlamlı öngörüler için gerekli kesin hesaplamalara uygunken, bir gaz molekülleri yığını (ya da atmosfer) gibi karmaşık sistemler, hesaplayabilme yeteneklerimizin son derece ötesindeydiler. Bununla birlikte, belirlenimcilik açısından bakıldığında, bu iki sistem çeşidi arasında ilke olarak bir fark görülmüyordu. Biri, yalnızca hesaplanabilirlik açısından ele alınmak için çok karışıktı - bu da uygulamadaki sınırlamadan başka bir şey değildi.

Bu geleneksel bakış açısı ya da sezgi (yukarıda iki cisimden oluşan merkezi-kuvvet problemi durumundaki gibi) çözümlemeye

dayalı yöntemlerle çözebildiğimiz (görece az sayıdaki) fiziksel problemlerin incelenmesine dayanıyordu. Bu tür integre edilebilir sistemler, temelde tanımları gereği (klasik) matematiksel çözümleme yöntemleriyle ele alınabilir sistemlerdir. Klasik mekaniğin tam olarak çözülebilen problemlerinin, çoğunlukla *ayrılabilir* oldukları ortaya çıkar. Bu, yaklaşık olarak, sistemin hareketlerini betimleyen denklemlerin tek başına bir cismi betimleyen problemler kümelerine ayrılmaları demektir. Bu, şimdiden bize bu durumların ne kadar özel ve (şaşırtıcı olmasa gerek) sıra dışı oldukları hakkında bir ipucu vermiş olabilir. Yine de, çözümlemeci bir biçimde başa çıkabildiğimiz bu sistemleri temel alarak oluşturulmuş 'eski' aklımızda oluşan kavrayışlarımızı aldık ve bunların bütün fiziksel sistemler için özgün olduklarını varsaydık. (Doğal olarak, fiziksel evrenin son derece başarılı olduğu görünen bir kuramı temel alan bir resmini oluşturmaktan başka, akla uygun ne yapılabilirdi ki?) Fakat, daha biraz önce belirttiğimiz gibi, bu tür entegre edilebilir sistemlerin çok özel oldukları ortaya çıkar.[10] Sezgimiz ya da dünya hakkında oluşturduğumuz genel resim, çok dar bir sistemler dizisinden zayıf bir tümevarıma dayanıyordu. Neredeyse 300 yıla yakın bir süre klasik mekaniği anladığımızı düşünüyorduk, ama aslında anlamamıştık. Daha sonra göreceğimiz gibi, (tamamen belirlenimci yasalarla yönetildikleri halde) kaotik davranış gösteren ve haklarında etkili bir öngörüde bulunabilme gücümüzün olmadığı birçok basit mekanik sistem vardır.

Böylece, dönüp dolaşıp bu tartışmaya başlarken sorduğumuz soruya geri geldiğimizi görüyoruz: Klasik sistemlerin tamamen belirlenimci bir biçimde evrildiklerine olan inancımızın güvencesi nedir? Tarihsel açıdan bu inancı destekleyen önemli bir öğe, klasik fiziğin belirlenimci yasalarının öngörülerindeki kesinlikti. Çünkü, durumun klasik fiziğin ileri sürülen bir belirlenimci yasaları kümesinin, uygulandıkları ezici çoğunluktaki olaylarda yararlı, güvenilir öngörülerde bulunmakta güçsüz kaldığının görüldüğü bir durum olduğunu varsayın. Bir 'ilke olarak' belirlenimcilik savunucusu, evrenin en temel düzeyde belirlenimci yasalarla yönetildiğini, fakat yalnızca başlangıç verilerini bu belirlenimciliğin kendini gösterdiğini 'görebilmemize'

izin verecek gerekli hesaplamaları yapmak için yeterince kesin bir biçimde belirtemediğimizi yine de öne sürebilirdi. Gerçek 'öngörüleri', temelde tamamen belirlenimci olmayan bir evrende elde edilenlerden deneysel olarak ayırt edilemez olacağından, böylesi bir sav ya da kuram kimi etkileyebilirdi ki? Bugün klasik fiziksel sistemlerin 'çoğunluğunun' kaotik (ç.n.: tamamıyla düzensiz) davranış gösterebildiğini (ve sık sık da gösterdiğini) biliyoruz. Şu halde, dünya temelde belirlenimci mi ve bu belirlenimcilik birkaç sıra dışı durumda mı gizlenmiş (geleneksel, kabul edilen bakış açısı) ya da temelde belirlenimci değil de birkaç sıra dışı durumda görünüşte ya da gerçekte belirlenimci davranış mı gösteriyor? Bu önemli nokta hakkında karar vermenin bir yolu var mı? (Bu soruya Kısım 24.2'de kuantum mekaniğinin bakış açısından geri döneceğiz.)

Bu, bizim, sorunun temel noktasına değin hem *epistemolojik* (ç.n.: epistemoloji: felsefenin bilginin doğasıyla, önceden varsaydıkları, temelleri, genişliği ve geçerliğiyle ilgili dalı) hem de *ontolojik* (ç.n.: ontoloji: metafiziğin varolmanın doğasıyla ilgilenen dalı) bir boyutu olduğunun farkında olmamızı sağlamalıdır. Bu bağlamda ilk terim, (dünya hakkında) ne bildiğimizden ve ikincisi de dünya hakkındaki asıl var oluş savlarından söz etmektedir. Belirlenimciliği hem fiziğin denklemlerinin ya da kuramlarının hem de gerçek dünyanın kendisinin bir özelliği olarak tartıştık. Dünyanın gözlemlenen olayları (diyelim, Kepler'in deneysel üç yasasında somutlaştığı haliyle gökbilimsel veriler) ile başladık ve sonra bu olayları açıklamak ve yeni niceliksel öngörülerde bulunmak için kuramsal bir çatı ya da bir denklemler sistemi (burada, Newton'un hareket ve kütleçekim yasaları) kurduk. Belirlenimcilik özelliğini, dünyamızı betimleyen bu yasalarda ya da denklemlerde keşfettik ve inceledik. Bir kez kendimizi bu matematiksel yasaların kesinliğine ve güvenilirliğine inandırdıktan sonra, (belki de bilincinde olmadan) bu yasaların göze çarpan genel taraflarını (ya da dünyamızla ilgili betimlemelerini), geriye doğru fiziksel dünyanın kendisine aktarmaya istekli davrandık. Bir başka deyişle, bilimin yasalarını (yasalarımızdan yalnızca deneysel yeterlilik istediğimiz, daha fazlasını beklemediğimiz) yalnızca yararlılık (ç.n.: bakınız Kısım 4.7)

çerçevesinden gören bakış açısının ötesine geçtik ve onları gerçekçi bir biçimde dünyanın kelimesi kelimesine doğru betimlemeleri olarak aldık. Bu aktarım için yetkimiz (ç.n.: ya da bunu haklı gösteren nedenimiz) nedir? Şimdi, kaotik sistemlerin az önce kabataslak resmini verdiğimiz sav için sunduğu bazı zorlukları inceleyelim.

12.4 Yersiz Bir İyimserlik

Kaos terimiyle, bir sistemin karmaşık, öngörülemez, görünüşe bakılırsa gelişigüzel davranışını kastediyoruz. Hava durumu bu tür zaman evrimi için örnek oluşturan bir durum sağlıyordu. Bu tür davranışı, gökyüzündeki gezegenlerin ve kuyrukluyıldızların kolaylıkla görüldüğü gibi, düzenli, büyük oranda öngörülebilir hareketleriyle karşılaştırdık. (Bununla birlikte, bu konuyla ilgili olarak Kısım 9.3'te Güneş Sistemi'nin uzun vadedeki davranışıyla ilgili, Poincaré tarafından işaret edildiği gibi, küçük sapmalar hesaplamalarının kararsızlığı üzerine yapılan yorumları hatırlayınız.) Dahası, değişik koşullar altında, bu iki evrim modelinden bazen birini bazen de diğerini gösteren bildik sistemler vardır. Orta ve ılımlı hızlarda akan bir sıvı (laminar (ç.n.: üst üste konmuş ince tabakalardan oluşan) akış adı verilen) düzgün, düzenli bir davranış gösterir. Bununla birlikte, sıvı hızlı hareket ettiğinde, akışı büyük oranda düzensizleşir ya da çalkantılanarak karışır. Düzgün, olağan bir masada hareket eden ve masanın sert (ç.n.: İngilizce 'rigid', fizikte yalnızca idealde olduğu gibi herhangi bir biçimde şekli değişmeyen, eğilmeyen, bükülmeyen anlamında) kenarlarıyla yalnızca esnek (ç.n.: fizikte kinetik enerjinin ve momentumun korunduğu) çarpışmaların etkisi altında kalan tek bir bilardo topunun kolayca (ve aslında yalnızca) öngörülebilir bir davranışı vardır. Öte yandan, (tipik bir bilardo oyununda olduğu gibi) başka bir sürü (hatta başlangıçta hareketsiz olan) bilardo topunun arasında hareket eden bir bilardo topu, istendiği kadar küçük olsun, (hava molekülleriyle olan rasgele çarpışmalar ya da masanın neredeyse hissedilemez titreşimleri gibi) dış etkilere karşı kararsız bir biçimde duyarlıdır. Topun konumu ve hızı hakkında kusursuz bir başlangıç bilgisine (verisine) sahip olmuş

olsak bile, görece kısa bir süre sonra (başka bir deyişle birkaç çarpışmadan sonra), masa üzerinde nerede bulunacağıyla ve hızıyla ilgili olarak etkili bir önceden kestirebilme gücüne sahip değiliz.

Belirlenimci kaos konusu son yıllarda çok önem kazanmıştır; çünkü artık kaotik (klasik) dinamik sistemlerin, bilimin birçok farklı alanında ortaya çıktığı şimdi kolaylıkla görülür olmuştur. Kaotik davranış örnekleri (diğer birçoklarının arasında), birbirinden tamamen farklı ve ayrık fiziksel sistemlerde görülebilir: Klasik çok cisim problemi (aslında yalnızca üç cisim problemi bile yeterlidir), sıvılarda türbülans ve ısı yayımı, kimyasal tepkimeler (örnek olarak Belousov-Zhabatinsky tepkimesi), kalbin dinamiği, elektrik devreleri (van der Pol denklemi), çevrebilim ve nüfus dinamiği, mekanik titreşimler ve eğilme, çarpılma ya da kırışma olayları (Duffing denklemi), beyinde bilginin işlenişi, Güneş Sistemi (yeterince uzun bir zaman ölçeğinde Plüton'un yörüngesi) ve belki de borsa.[11] Bu klasik devinimsel kaosun genel kaynağı, aşağıda belirttiğimiz gibi, sistemin izlediği yolların devinimsel evrim sırasında olağandışı hızlı bir biçimde ayrılmasıdır.[12] Başlangıç koşullarına karşı aşırı bir duyarlılık söz konusudur: Belirli bir başlangıç anında birbirine yakın başlayan yörüngeler, çok kısa bir süre içinde sistemin uzun vadedeki davranışı için etkili bir öngörüde bulunabilme yeteneğinin kaybına yol açarak, uzayda çok büyük uzaklıklarla birbirlerinden ayrılırlar. (Bundan, Brezilya'da kanatlarını çırpan bir kelebek, hayal gücünün bir ürünü olarak, en sonunda Teksas'ta bir kasırgaya yol açabileceğinden kimi zaman 'kelebek etkisi' diye söz edilir.)

Kaotik davranış gösteren denklemlerin genel matematiksel biçimi şöyledir:

$$\dot{x} \equiv \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = f\left(x,\lambda;t\right) \qquad (12.3)$$

($x(t)$'nin, birçok bileşeni olabilen, $x = (x_1, x_2, x_3...)$ biçiminde bir vektör olduğunun ve böylece (12.3) denkleminin çiftlenimli bir diferansiyel denklem kümesini betimleyebileceğinin farkında olunuz.)

Burada λ ((ç.n.: sisteme herhangi bir şekilde etki eden) düzensizliğin genliği ya da sıcaklık gibi) dıştan gelen bir değişkendir. f fonksiyonu, açık bir biçimde zamana bağlı olmak zorunda değildir (ve sık sık da olmaz). Dinamik kaos, yalnızca bu denklemler doğrusal olmadıkları zaman ortaya çıkar. ('Doğrusal olmamak' ile $x(t)$'nin (12.3) denkleminin sağ tarafına doğrusal (birinci kuvvet) olmayan bir biçimde girdiğini demek istiyoruz. Örnek olarak, kuadratik (ç.n.: ikinci dereceden) bir terim doğrusal değildir.) Doğrusal olmamak, kaotik davranış için gerekli ama yeterli olmayan bir koşuldur. Bu denklemlere sık sık doğrusal yaklaşımlar (ç.n.: denklem genel özelliklerini koruyacak bir biçimde doğsusallaştırılır) yaparız, ya da var olan baskın kuvvetlerin kimi zaman ortaya doğrusal dinamik denklemler (ki bunlar için herhangi bir kaotik davranış olamaz) çıkardığını buluruz ve sonrasında daha ayrıntılı bir inceleme (kesin olmaya daha yakın), hareket denklemlerinde doğrusal olmayan terimleri ortaya koyar. Bunun bir örneğini, iki cisim için merkezi kuvvet probleminin ana hatlarına bakarken gördük. Ortaya çıkan denklem, diğer gezegenlerle olan kütleçekimsel etkileşimler sonucu sapmalara yol açan etkileri önemsemediğiz sürece, doğrusal bir denkleme dönüştürülebiliyordu (ve bu denklemin kesin, kapalı bir forma sokulmuş çözümleri konik kesitlerdi).

Doğrusal olmayan diferansiyel denklemler konusu öylesine zor bir konudur ki, sık sık belirli bir bu türden denklemler sisteminin gerçekten de kaotik davranışı olup olmadığına kesin olarak karar verilemez. Neyse ki, bu sürekli ya da diferansiyel denklemlerin çözümlerinin uzun vadedeki davranışlarının göze çarpan bazı önemli özellikleri sık sık ilgili ('discrete' (ç.n.: kesikli, sonlu ya da sayılabilir çoklukta değerler kümesinde tanımlı, sürekli olmayan)) bir kümenin elemanlarıyla bir başka kümeninkiler arasındaki karşılıklılık problemleri çalışılarak elde edilebilirler.[13] Bu karşılıklılık, çok daha basit olan bu 'kesikli' fonksiyonların genel niteliklerinin çözümlenmesiyle, karmaşık doğrusal olmayan diferansiyel denklemler için kaosun göze çarpan bazı evrensel özelliklerinin çalışılabilmesini olası kılar. Bu, kaotik davranışı biraz daha anlamamıza izin verdiğinden, bir sonraki kısımda bu fonksiyonlarla ilgili iki örneği ele alacağız.

12.5 Örnek Olarak İki Fonksiyon

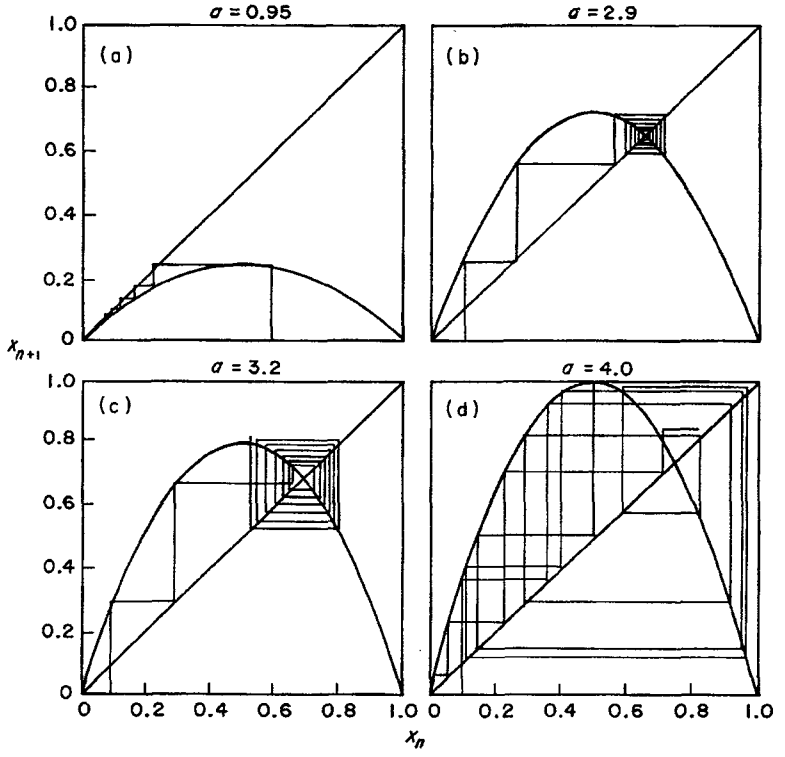
Kaotik davranış gösteren doğrusal olmayan denklemler sistemine, özellikle basit ama zengin ve önemli bir örnek olarak, popülasyon (ç.n.: çevrebilimde belirli bir grubu oluşturan ya da belirli bir habitatta (doğal bölgede) var olan bütün organizmalar) dinamiğinin bir modelinden ortaya çıkan, adına *lojistik fonksiyon* denen bir örnekle başlıyoruz.[14] Lojistik fonksiyon, bir x değişkeninin (diyelim, bir popülasyondaki belli bir türün kesiri) $(n+1)$inci basamaktaki (ya da zaman aralığındaki) değerini bir önceki, (n)inci basamaktaki değeri cinsinden oluşturmak için, durmadan yinelenen bir işlem dizisinden oluşur:

$$x_{n+1}=ax_n(1-x_n) \tag{12.4}$$

Bu denklem, x'in küçük değerleri için yaklaşık olarak doğrusaldır ve eğrinin eğimi ya da büyüme hızı yalnızca a değişkenine bağlıdır. Bununla birlikte, a değişkeni arttırıldığında $-ax^2$ negatif terimi daha fazla artışı yavaşlatabilir. Bu denklemin ardıl iterasyonlarına (ç.n.: matematikte belirli bir şekilde sıralanmış işlemler dizisinin yinelenmesinden oluşan hesaplama yöntemi) Şekil 12.2 aracılığıyla çok basit bir geometrik açıklama getirilebilir. Bu yinelenen işlemlerden oluşan denklemin sağ tarafına x_n koyup, sol taraftaki x_{n+1}'i elde etmek ve sonrasında bu değeri sağ tarafta yerine koyup bir sonraki iterasyonu elde etmek, Şekil 12.2'de belirtildiği gibi

$$y=ax-ax^2 \tag{12.5}$$

parabolü ile $y = x$ doğrusu arasındaki yatay ve dikey doğrular boyunca bir yansımalar dizisine denktir. (Örneğin, eğer parabol $y = x$ doğrusunun üzerindeyse bu, tamamen ilk x_n değerini alıp parabole doğru dikey yönde yukarı çıkmaya, buradan yansıyarak $y = x$ doğrusuna doğru yatay yönde gitmeye ve sonrasında da geriye doğru tekrar dikey doğrultuda parabole doğru hareket etmeye eşdeğerdir. Bu, 12.2(b) ve 12.2(c) Şekillerinin sol bölümlerinde resmedilmiştir.)



Şekil 12.2 (12.4) denklemindeki a değişkeninin farklı değerleri için lojistik fonksiyonu

Bu durmadan yinelenen fonksiyonun uzun vadedeki ya da asimptotik davranışı a'nın değerine bağlıdır. Burada x'in 0 ve 1 arasındaki aralıkta kalmasını istediğimizden, a'yı $0 < a < 4$ aralığında sınırlandırıyoruz.[15] (12.5) denkleminin lojistik fonksiyonunun $x_{n+1} = x_n$ özelliğine sahip olan, x^* ile gösterilen bir x değerini *değişmez nokta* diye tanımlıyoruz. $0 < a < 1$ iken $x^* = 0$'ın kararlı bir değişmez nokta[17] olduğunu ve bunun a için bu değerler aralığındaki tek değişmez nokta olduğunu göstermek görece kolaydır.[16] $1 < a < 3$ aralığında, $x^* = 0$ kararsız olur ve sonrasında başka bir x^* değeri kararlı olur. $a > 3$ için her iki değişmez nokta kararsız olur. Bu durumda x'in uç değerinin davranışı daha karmaşık olur ve 12.2(c) ve 12.2(d) Şekillerinde resmedildiği gibi, çok kapsamlı sayısal iterasyonları gerektirir.

a'nın erimindeki bazı önemli alt aralıkları özetleyelim.

i $a < 1 \Rightarrow$ her zaman 'yok olmaya' ($x_{n+1} \to 0$) gider. Başka bir deyişle, $x = 0$ kararlı bir değişmez noktadır.

ii $a < 1 \Rightarrow x = 0$ kararsız bir değişmez nokta olur ve parabol ile 45°lik doğrunun $x = (a-1)/a$'daki kesişiminde bulunan yeni bir kararlı değişmez nokta ortaya çıkar.

iii $1 < a < 3 \Rightarrow$ popülasyon bu yeni değişmez noktaya doğru hareket eder.

iv $a > 3$ (diyelim, 3,2) $\Rightarrow$ popülasyon iki uç noktası arasında gider gelir.

v a daha da büyük $\Rightarrow$ bu gidiş gelişlerdeki uç noktaların sayısı ikiye katlanarak artar durur, öyle ki $a \approx 3{,}57$ olana dek bu sayı sonsuza gider. Bu ikiye katlanmalara 'dallanmalar' adı verilir.

vi $a \sim 4 \Rightarrow$ popülasyon kaotik bir hal alır ve 0 ve 1 arasındaki bütün değerleri alarak durmadan değişir.

$x_0 = 0$ ya da $x_0 = 1$ için x_n'lerin tamamının bütün a'lar için sonsuza dek sıfır olarak kaldığına, dolayısıyla başlangıç koşullarına karşı aşırı derecede bir hassaslık olduğuna dikkat ediniz.

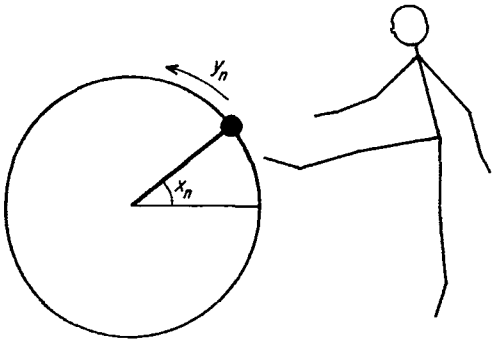
Bir diğer önemli örnek, standart fonksiyon ile verilir

$$\begin{aligned} x_{n+1} &= x + y_{n+1} \\ y_{n+1} &= y_n + k\sin x_n \end{aligned} \qquad (12.6)$$

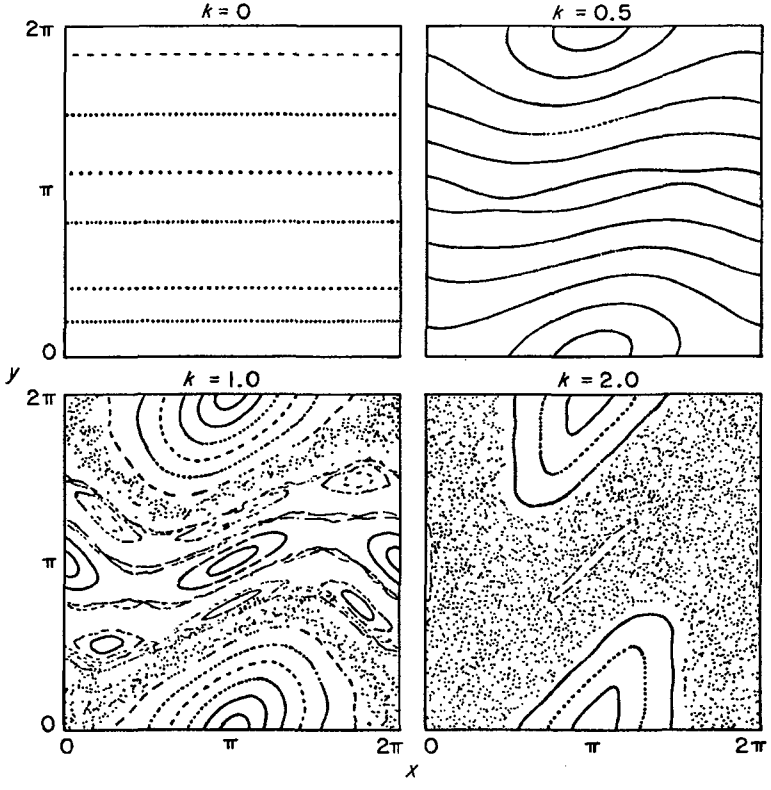
x_n'i bir çemberin açısal konum değişimi ve y_n'i de çemberin açısal hızı diye alırsak, bu denklemler (standart fonksiyon) tekmelenmiş bir çemberin hareket denklemlerini betimlerler. Böyle bir mekanik sistem Şekil 12.3'te resmedilmiştir. Yalnızca $k = 0$ durumunda (bilinen fonksiyonlar cinsinden) kapalı bir çözüm bilinmektedir. $k \neq 0$ için çözümler sayısal olarak elde edilmelidirler. Düzenli davranıştan kaotik davranışa geçiş $k \approx 1$ yakınlarında olur. k artarken düzenli davranıştan düzensiz (ya da kaotik) davranışa olan bu geçiş Şekil 12.4'te kolaylıkla görülür. Bu, k'nın çeşitli değerleri için bir *faz uzayı* portresidir (başka bir deyişle, (x) konumuyla (y) momentumunun (ya da bazen hızın) grafiğidir). ('Faz uzayı',

koordinat eksenlerinin bir sistemin konumu, diyelim x, ve hızı (ya da p momentumu) ile tanımlandığı bir matematiksel uzay için kullanılan terimdir. Bu uzaydaki bir nokta sistemin (klasik) durumunu verir.) $k = 0$ hali düzenli (ya da entegre edilebilir) dinamiğe (burada, düzgün dairesel hareket eden basit bir çembere) karşılık gelir ve birbirini izleyen zamanlardaki sistem noktası belirtilen düzgün eğriler üzerine düşer. $k = 0{,}5$ hali için hareket şimdi daha az düzenli olduğu halde, hâlâ integre edilebilir bir sistemde bulunan aynı genel belirleyici niteliksel özelliklere sahiptir (başka bir deyişle hareket hâlâ oldukça düzgün ve öngörülebilirdir). $k = 1$'e gelindiğinde, hareket düzenli ve kaotik davranışın bir birleşimidir. Bu son durumda, sistem noktasının konumu düzensiz bir biçimde oradan oraya atlar durur ve aslında bir alanı tarar. Düzgün bir eğriyi izlemez. k'nın 1'den sonraki değerleri için hareket, kaotik davranışın görüldüğü büyük bölgeler giderek egemen hale geldiğinden bir rasgele yürüyüş probleminden[18] ayırt edilemez.

Aşırı derecede karışık belirlenimci kaos sergileyen iki basit sistemin davranışının ana hatlarını az önce ortaya koyduk. Bunlar yalnızca iki örnekti ve sonuçlar kendi başlarına ilginç oldukları halde, bu sonuçların bu özel hallere özgü olabileceklerini bekleyebiliriz. Bununla birlikte, bu örneklerin bizim ulaşmayı amaçladıklarımız açısından önemi, bu tür belirleyici özelliklerin uygun koşullar altında çoğu mekanik sistemin genel özellikleri olduklarının ortaya çıkmasıdır. Bunun çok açık olduğunu herhangi bir biçimde söylemiyoruz ve kesinlikle burada bu savı ne kanıtladık ne de bu savın özellikle akla yatkın olduğuna ilişkin akıl yürüttük. Bu belirleyici özelliklerin evrenselliği, fonksiyonların değerlendirilmesini belirlenimci kaosun anlaşılmasında çok önemli kılar. Şekil 12.2(d)'de kabaca çizilen hal kaotik davranışın temel bir özelliğini gösterir; sistemin uzun vadedeki davranışı için yararlı herhangi bir öngörüde bulunabilme gücünün kaybı. Özgül olarak, (12.4) denklemi tarafından yönetilen ve Şekil 12.2(d)'de çizilen sistem (diyelim ki x bir popülasyonu belirtsin) açısından fonksiyonun birkaç iterasyonu sonrasında (başka bir deyişle birkaç 'nesil' sonrasında) $0 \leq x \leq 1$ olduğu dışında çok az şey biliyoruz. Ama işin aslına bakarsanız bu kadarını 'kuramımızın' yokluğunda bile biliyor olacaktık.



Şekil 12.3 Tekmelenmiş bir çember



Şekil 12.4 Tekmelenmiş çemberin (12.6) Denklemindeki k parametresinin çeşitli değerleri için faz uzayı grafikleri

Bunu başka bir şekilde açıklamanın yolu, birbirine çok yakın başlayan (bir başka deyişle Şekil 12.2(d)'nin yatay ekseni üzerinde neredeyse aynı noktada bulunan x değerlerine sahip olan) iki 'popülasyonun' birkaç iterasyondan (ya da 'nesilden') sonra, kısa bir süre içerisinde çok geniş bir aralıkla ayrılabileceğidir. Beklentimiz, birbirine oldukça yakın olan iki başlangıç noktasıyla başlayınca, daha sonraki noktaların da kesinlikle birbirlerine çok yakın olarak kalmayı sürdürecekleri yönünde olabilirdi. Kaotik sistemler, küçük farkları hızla büyük farklara çevirirler, böylece, yinelenen noktalar arasındaki uzaklığı kontrol edemez duruma geliriz. Kaotik sistemler için gelecekteki davranışın anlamlı bir öngörüsünün etkili bir biçimde yapılmasını olanaksız kılan, başlangıç koşullarına karşı bu aşırı derecede duyarlı olma halidir (böylece faz uzayında başlangıçta birbirine komşu olan eğriler zaman içinde çok hızlı bir şekilde birbirlerinden ayrılırlar).

Kaotik davranış için titiz, teknik matematiksel ölçütler vardır, ama burada bunlara girmeyeceğiz. Bununla birlikte, belirlenimci kaotik sistemlerin davranışı (ya da 'çıktısı') gerçekten rastlantısal olan sistemlerinkinden ayırt edilemeyecek kadar düzensiz (ve öngörülemez) olabilir. Rastlantısal bir dizi için, diziyi hesap etmek için gereken komutlar kümesinin (diyelim bir bilgisayar programının) boyu kabaca dizinin kendi boyu kadardır. Dizideki $n$inci terimin hesaplanabilmesini ya da öngörülebilmesini, bütün dizinin kendisinin yazılması dışında sağlayan basit bir kural yoktur. Kaotik bir yörüngenin hesaplanabilmesi için herhangi bir sonlu algoritma yoktur. Durum değişkenlerinin (diyelim konumun ve hızın) gelecekteki değerlerini hesaplamaya çalıştığımızda, gereken süre miktarının (ya da hesaplamak için gerekli emeğin) sınırsız bir biçimde artmasının nedeni budur. Bundan dolayı, kaotik bir sistemin nasıl evrileceğini bulmak için, sistemin kendisinin gerçekten de evrilmesini gözlemlemekten başka daha hızlı bir yol yoktur. (Başka bir deyişle, başlangıç koşullarından ya da durumundan hemen son duruma geçmek için kullanılabilir herhangi bir 'yol' yoktur.) Tek bir sistemin davranışı öngörülemez olsa da, büyük bir sistemler kümesinin ortalama davranışı (olasılıklar cinsinden) sık sık öngörülebilir.

Daha öncesinde, asıl fiziksel evrende belirlenimciliğin olasılıklardan daha temel olduğuna ilişkin inancın, klasik fiziğin yasaları ve fiziksel sistemlerin gözlemlenen hareketleri tarafından gerektirilen ya da dahası özellikle doğruluğu haklı çıkarılmış, bir konum olmaktansa, aklın sıkı ve kararlı bir biçimde sadık kalmayı kabul ettiği bir inanç olduğunu belirtmemiz bu nedenler yüzündendir. Bir bakıma, belirlenimcilik neredeyse hiçbir yerde egemen değilken, kaos hemen hemen her yerde egemendir, böylece Newtoncu (Laplaceçı) belirlenimcilik, bir kuramcının yalnızca ulaşılamaz bir hayali olarak kalır.[19] Bu rastlantısallık-belirlenmişlik ikilemine daha sonra kuantum mekaniğini tartışırken geri döneceğiz.

Belirlenimci kaos, günümüzde son derece tutulan bir ilgi ve araştırma etkinlikleri alanıyken, fiziğin ya da daha genel olarak bilimin kavramsal temelleri açısından ne kadar önemli ya da gerçekten devrimsel nitelikte olduğu hâlâ belirsizliğini korumaktadır. Bilim için, uygulamalar açısından çok önemli sonuçlara kesinlikle sahip olsa da, bu sonuçların kendilerinin, doğanın temel yasalarında herhangi bir devrime yol açıp açmayacakları sorusu hâlâ çözülmeyi beklemektedir.[20]

Yararlı Kaynaklar

Stanley Jaki, *Fiziğin Uygulanabilirliği* adlı kitabının 8. konusunda, fizikle fizikötesi arasındaki çoğunlukla sıkıntılı ilişkiyi ve yalınlık fikri gibi düzenleyici ilkelerin bilim tarihinde oynadıkları işlevi inceler. Ian Hacking'in *Olasılığın Ortaya Çıkışı* ve Lorraine Daston'un *Klasik Olasılık ve Aydınlanma* adlı kitapları, olasılık kavramının çağdaş zamanlarda nasıl olup da bu kadar önemli bir rol oynamaya başladığını anlatırlar. Florin Diacu ve Philip Holmes'in *Gökyüzündeki Karşılaşmalar* adlı eseri, Poincaré'nin klasik mekanikteki çok cisimli sistemler problemi üzerindeki çalışmalarından yeni teknik gelişmelere kadar, kaos kuramının kökenlerinin izini sürer. Belirlenimci kaos ve ilgili konular üzerine yazılmış çok sayıdaki kitap ve yazı arasında, bu

çalışma alanının son derece okumaya değer, konuya giriş niteliğine sahip özetleri, Joseph Ford'un 'Bir Yazı Tura Atışı Ne Kadar Rastlantısaldır?', James Crutchfield *et al.*'ın (ç.n.: Latince 've diğerleri') 'Kaos', Roderick Jensen'in 'Klasik Kaos', Keith Briggs'in 'Kaotik Dinamikte Kolay Deneyler' ve Max Dresden'in 'Kaos: Yeni Bir Bilimsel Model - ya da Halkla İlişkiler Yoluyla Bilim?' adlı kitaplarında bulunabilirler. James Gleick'in *Kaos* adlı kitabı, kaos kuramının yakın zamanlarda yükselişini ve kökenini, herkesin anlayabileceği bir biçimde sunar. Ilya Prigogine ve Isabelle Stengers, *Kaostan Çıkan Düzen* adlı kitapta, geleneksel olarak varsayıldığı gibi, düzenin ve tersine çevrilebilir oluşumların yerine, rastlantısallığın ve tersine çevrilemez oluşumların bilim için uygun başlangıç noktası olduğunu öne sürerler. Stephen Kellert'in *Kaostan Sonra* adlı kitabı, çağdaş kaos kuramının düşünsel sonuçlarını inceler ve John Earman'in *Belirlenimcilik Üzerine Bir İlk Okuma Kitabı*, bunu teknik olarak çok daha ayrıntılı bir biçimde yapar. Ian Stewart'ın *Tanrı Zar Atar Mı*? adlı kitabı, kaosun matematiğini ele alır. Belirlenimci kaos üzerine yazılmış birçok teknik çalışmadan örnek olarak alınabilecek bir küme şöyledir: Heinz Schuster'den *Belirlenimci Kaos*, Michael Thompson ve Bruce Stewart'tan *Doğrusal Olmayan Dinamik ve Kaos*, S. Neil Rasband'dan *Doğrusal Olmayan Sistemlerin Kaotik Dinamiği*, John Guckenheimer ve Philip Holmes'tan *Doğrusal Olmayan Salınımlar, Dinamik Sistemler ve Vektör Alanlarının Dallanmaları* ve Joseph McCauley'den *Kaos, Dinamik ve Fraktallar* (ç.n.: İngilizce 'fractal', gittikçe daha küçük ölçeklerde bile yinelenen ve bu nedenle klasik geometriyle betimlenemeyen düzensiz şekiller ve yüzeylerden oluşan geometrik desen).

Notlar

Genel Referanslar

Dizin

Notlar

BBS, BK ve M alıntı kısaltmaları, kitabın *Genel Referanslar* kısmında açıklanmıştır.

I. BÖLÜM

Jevons 1958, 228.
Einstein 1954b, 271-2.
Popper 1965, 278, 280.
Quine 1990, 1, 5, 12, 13.

1. KONU

[1] Jefferson 1952, 1. (BK **43**, 1)

[2] Aristo 1942b, I. Kitap, 1. Konu, 184^a (10-24). (BK **8**, 259)

[3] Aristo 1942a, I. Kitap, 1. Konu, 24^b (18-21). (BK **8**, 39)

[4] Doğal olarak düşünsel açıdan özenli olanlar (bütünüyle haklı olarak) burada sözü edilen gereklilik çeşidinin, örneğin, 'Eğer bir şekil yarıçapı R olan bir daireyse alanı πR^2dir'de olduğu gibi mantıksal değil, ahlaki (ya da etik) olduğuna işaret edeceklerdir. Bu son örnekte sonuca, bir dairenin kendine özgü özelliklerinden mantıksal tümdengelim ile ulaşılır. Benzer biçimde, metinde iki paragraf daha aşağıda, gezegenleri ve kütleçekimi kullanan örneğimiz fiziksel gereklilik içerir, ama mantıksal gerekliliği içermediği tartışılabilir. Bu ayrıntılı sınırlamalara girdikten sonra, bir kere varsayıma dayanan bir silojizmle gösterildiği gibi (mantıksal, fiziksel ya da ahlaki olsun) belirli bir kısıtlamalar çerçevesi kabul edildikten sonra, açıkça belirtilmemiş bazı anlamlara da ulaşılacağı noktasının hâlâ ortada durduğu unutulmamalıdır. Bu örneklerin tamamındaki temel özellik budur.

[5] Descartes 1977a, 9. (BK **31**, 5)

[6] Herschel 1830, 80.

[7] Planck 1949, 84-5.

[8] Holton 1978, 2. Konu.

[9] White 1934, vii-viii.

[10] İlk olarak ortaya çıkan yaşam biçimlerinin evriminde, tarihi olasılıkların oynadığı temel rolün dramatik bir gösterimi için Gould'a (1989) bakınız.

[11] Bu kitapta 'yasa' ve 'kuram' terimleri arasında resmi olmayan bir ayrım uygulamaya çaba gösteriyoruz. İlki çoğunlukla bir olaylar sınıfını etkileyen - Boyle'un (ideal) gazlar için $PV = sabit$ yasasında olduğu gibi - (sık sık evrensel olduğu umulan) belirli bir düzenliliğin ifadesini anlatırken, ikincisi tipik olarak - istatistiksel mekanik

gibi - içinde yasalar bulunan ve bunların açıklandığı daha büyük bir çerçeveyi belirtir.

[12] Descartes 1977a, II. ve III. Kurallar, 3-8. (BK **31**, 2-4)

2. KONU

[1] Rose 1886, 449.

[2] Platon 1892, [30] 450. (BK **7**, 448)

[3] Aristo 1942c, III. Kitap, 2. Konu, 300[a] (20-31), 301[b] (17-23). (BK **8**, 391, 393)

[4] Burada ve daha sonrasında 'a priori'yi, çoğunlukla yermek için kullanılan anlamıyla, sorgulanmayan, herhangi bir kanıt gerekmeksizin doğru olduğu ileri sürülen ya da mantıksal olarak gerekli oldukları iddia edilen dayanak noktalarını temel alan savları ya da akıl yürütmeleri anlatmakta kullanıyoruz.

[5] Aristo 1942b, IV. Kitap, 8. Konu, 216[a] (14-16). (BK **8**, 295)

[6] Günümüz bakış açısından, başlangıçta hareketsiz olan ve sabit bir F kuvvetinin etkisi altında t süresi içinde x uzaklığı kadar yol alan bir cismin hareketini ele alınız. O halde, eğer v_t cismin son hızıysa, $\bar{v}$ $(v_t/2)$ $t = (F/2m)$ t ve $x = \bar{v}t$ olur. Burada ortalama hız kuvvetle doğru orantılıdır.

[7] Dugas 1988, 21.

[8] Cooper 1935, 14, 20, 36.

[9] Lucretius 1952, II. Kitap, par. 225, 18. (BK **12**, 18)

[10] Aristo 1942b, IV. Kitap, 8. Konu, 215[a] (19-20). (BK **8**, 294)

[11] Dijksterhuis 1986, 39.

[12] Bacon 1952, I. Kitap, 95. Özdeyiş, 126. (BK **30**, 126) Ek olarak, Bacon'un bilimin yönteminin ne olması gerektiği hakkındaki görüşü için 1., 14., 19., 22., 26., 45., 46., 73. ve 104. özdeyişlere de bakınız.

[13] Aristo 1942c, III. Kitap, 2. Konu, 301[a] (24-34). (BK **8**, 392)

[14] Aristo 1942c, IV. Kitap, 1. Konu, 308[a] (29-33) ve 2. Konu, 309[b] (11-15). (BK **8**, 399, 401)

[15] Aristo 1942c, I. Kitap, 6. Konu, 273[b] (31)-274[a] (2). (BK **8**, 365)

[16] Aristo 1942c, I. Kitap, 8. Konu, 277[a] (28-30). (BK **8**, 368)

[17] Aristo 1942b, IV. Kitap, 8. Konu, 215[a] (29-30), 215[b] (1-12), 216[a] (11-20). (BK **8**, 295)

[18] Bir cismin ağırlığının Aristo için doğal yerine olan yakınlığı tarafından belirlendiğini (Kısım 2.3) hatırlayınız.

3. KONU

[1] Harvey 1952, 319. (BK **28**, 319)

[2] Newton 1934, III. Kitap, IV. Kural, 400. (BK **34**, 271)

[3] Planck 1949, 33-4; 105-8'e de bakınız.

[4] Watkins 1978, 23-43, özellikle 24-5.

[5] Hume 1902, 73-7. (BK **35**, 476-7)

[6] Mill 1855, III. Kitap, II. Konu, 171-2; III. Konu, 183-5.

[7] Popper 1968, 33-7.

II. BÖLÜM

Galilei 1946, Üçüncü Gün, 154, 155, 160. (BK**28**, 200, 202)
Galilei 1967, 33-4, 193-4.

4. KONU

[1] Bu ve bundan sonraki konudaki anlatımımız, Kuhn'un (1957) iyi bilinen çalışmasının öne çıkan birkaç yanının kabataslak bir resmidir ve burada işlenen konular üzerine daha fazla ayrıntı için bu kaynağa başvurulmalıdır.

[2] Eratosthenes, Şekil 4.2'deki AB yayının uzunluğunun (ölçü olarak) 5000 stadyum (ç.n. 1 stadyum 150-190 metre arası uzunlukta eski bir Yunan uzunluk ölçüsü birimi) olduğunu biliyordu (bakınız Heath (1981b, II. Cilt, sayfa 107)). Buna göre Dünya'nın çevresi 50 × 5000 = 250000 stadyum yapar. Ne yazık ki, bir stadyumun kaç ayak olduğu biraz belirsiz durumdadır. Örnek olarak, Pliny (MS 23-79) tahmini olarak 516,73 ayağa [157,50 m] denk olduğunu söyler.

Bu temel alındığında, Eratosthenes'in Dünya'nın çevresi için verdiği değer 24466 mil [3.93 × 10^4 km] olur.

[3] Archimedes 1897, 221-2. (BK **11**, 520)

[4] Vitruvius'un (MÖ birinci yüzyıl) bu inancı açıklamada benzerlik kurarak verdiği sav için Kuhn'a (1957, 52-3) bakınız.

[5] Kuhn 1957, 80 ve sonrası.

[6] Ptolemaios 1952, I.2 Kitap, 7. (BK **16**, 7)

[7] Ptolemaios 1952, III.3 Kitap, 86-7. (BK **16**, 86-7)

[8] Ptolemaios 1952, IX.5, IX.6 Kitap, 291, 293-4. (BK **16**, 291, 293-4)

[9] Lakatos ve Zahar 1978.

[10] Platon 1892, [33-4] 452-3. (BK **7**, 448-9)

[11] Duhem'de (1969, 5) alıntı olarak verilmektedir.

[12] Ptolemaios 1952, IX.2 Kitap, 270. (BK **16**, 270)

[13] Gardner 1983.

[14] Kopernik 1952, Giriş, 505-6. (BK **16**, 505-6)

[15] Heath'de (1981a, 351-414 ve 328-36'daki yorum) 'Aristarchus'un Güneş'in ve Ay'ın Boyutları ve Uzaklıkları Üzerine Görüşleri'ne bakınız. Orada ve Kuhn'da (1957, 274-8) verilen tartışmayı izliyoruz.

[16] Doğal olarak Aristarchus'un çağında trigonometri daha keşfedilmemişti (Heath 1981a, 328'e bakınız). Daha sonra yaşamış bir gökbilimci olan Hipparchus, matematiğin bu alanının gelişmesinde önemli bir kişiydi ve trigonometriyi kullanışı belgelenmiş kanıtlarla desteklenmiş ilk insandı (bakınız Heath 1981b, II. Cilt, 257; Cohen ve Drabkin 1948, 82-5). Aristarchus'un asıl savı R_e/R_m oranı üzerine aşağıdaki gibi sınırlar koymaktan oluşuyordu (bakınız Heath 1981a, 330-1, 353). Şekil 4.8'de α açısının tümleyeni olan dar açıyı β diye adlandıralım. Aristarchus α'yı 'bir çeyrek daireden [yani, 90°'den] bir çeyreğin otuzda biri kadar daha az' (Heath 1981a, 353) aldığından ya da $\alpha = 90° - 3° = 87°$ olduğundan, $\beta = 3°$ olduğu ortaya çıkar. Eğer s (yarıçapı R_e olan bir çember üzerinde) Dünya'dan Ay'a olan çember yayının uzunluğunu gösterirse, o zaman $s = R_e \beta = R_e$ (0,0524) olur - burada β radyan olarak verilmiştir. Eğer $s \approx R_m$ alırsak (yani, R_m kiriş uzunluğunu yaklaşık olarak s yayının uzunluğu diye alırsak), o zaman $R_e/R_m = 19{,}1$ olduğunu buluruz. Trigonometrik fonksiyonlar kullanılarak elde edilen değer $R_m = 2\ R_e \sin(\beta/2) = 0{,}0524\ R_e$, R_e/R_m oranı için aynı sayısal değeri verir. Aslında Aristarchus bu oranı 18 ile 20 arasında sınırlandırabilmişti.

[17] Bu eşitlikler yaklaşık eşitliklerdir çünkü Şekil 4.10'daki arada bulunan ve daha büyük üçgenlerin dikey kenarları tam olarak (bu yarıçaplar Dünya'yı ve Güneş'i temsil eden çemberlere *teğet* olan doğrulara dik oldukları için) sırasıyla r_e ve r_s değildir. Heath'e (1981a, 330, özellikle Şekil 14), Kopernik'a (1952, sayfa 711'deki şekil) ve Armitage'a (1938, 128, Şekil 23) da bakınız.

5. KONU

[1] Kopernik 1952, Giriş, 507. (BK **16**, 507)

[2] Kopernik 1959, 57.

[3] Kopernik 1952, I.8 Kitap, 519. (BK **16**, 519)

[4] Kopernik 1952, I.4 Kitap, 513-4. (BK **16**, 513-4)

[5] Kopernik 1952, I.9 Kitap, 521. (BK **16**, 521)

[6] Bizim Şekil 5.3'ümüze çok benzeyen bir çizim Kopernik'te (1952, 778) da vardır. Kopernik orada Venüs için $\alpha \approx 45°$ değerini verir.

[7] Bizim Şekil 5.4'ümüz Kuhn'un (1957, 176) Şekil 36(b)'sinden uyarlanmıştır. Mars için bizim Şekil 5.4'ümüze karşılık gelen tez Kopernik'de (1952, 775-7) yer alır. Kopernik'in bu karmaşık yöntemiyle ilgili olarak Armitage'a (1938, 135-46) bakınız.

[8] Kopernik 1952, I.10 Kitap, 526. (BK **16**, 526) Bizim Şekil 5.5'imiz Kopernik'te (1952, 526) karşılık gelen şekilden uyarlanmıştır.
[9] Neugebauer 1968, özellikle 92-6.
[10] Kepler 1937, II. Bölüm, 19. Kısım, 178; 1992, 286; Koestler'de (1959, 322) de alıntılandırılmıştır.
[11] Kepler 1937, IV. Bölüm, 58. Kısım, 366; 1992, 575.
[12] Kepler 1952a, V.3 Kitap, 975. (BK **16**, 975)
[13] Kepler 1952a, V.4 Kitap, 983. (BK **16**, 983) Bizim Şekil 5.9'umuz Kepler'de (1952a, 983) karşılık gelen şekilden uyarlanmıştır.
[14] Kepler 1952b, V.3 Kitap, 1020. (BK **16**, 1020)
[15] Heath 1981b, I. Cilt, 244.

6. KONU

[1] Bu Lakatos'u (1970, 133) başka sözlerle açıklamak içindir.
[2] Cooper 1935, 47; Cohen ve Drabkin 1948, 220.
[3] Cohen ve Drabkin 1948, 222-223.
[4] Galilei 1946, Üçüncü Gün, 147-8. (BK **28**, 197)
[5] Galilei 1946, Üçüncü Gün, 162. (BK **28**, 203)
[6] İlk bakışta $\Delta v \propto \Delta x$'in en az $\Delta v \propto \Delta t$ kadar yalın olduğu sanılabilir. Bununla birlikte, Galilei hareketsiz durumdan başlayan bir serbest düşme için $v_f \propto x$'in bir çelişkiye yol açtığını öne sürer. Modern gösterimle bunun neden böyle olduğunu, bu varsayım $dv/dt \propto dx/dt = v$ olmasını gerektireceğinden ve bu da sonrasında başlangıçta $v = 0$ olan bir durumdan sürekli bir hareketin ortaya çıkamayacağı anlamına geleceğinden kolayca görebiliriz. Bakınız Galilei (1946, 161). (BK **16**, 203)
[7] Galilei 1946, Üçüncü Gün, 154-5. (BK **28**, 200)
[8] Bilim tarihçilerinin arasında bu eğik düzlem deneylerinden - tabii eğer biri yapılmışsa - hangisinin Galilei tarafından gerçekten yapıldığı konusunda uzun süredir bir anlaşmazlık vardır. Şimdilerde yazılı kanıtlar onun Galilei'de (1946, Üçüncü Gün, 171-2. (BK **28**, 208)) betimlenen ve sık sık anılan deneyi gerçekten de yaptığı görüşünü destekleme eğilimindedir. Bakınız Segre (1980, özellikle 242-4).
[9] McMullin 1967b, 27-31.
[10] Descartes 1905, 62-4; 1977b, 267 (yalnızca önermelerin başlıkları).
[11] Blackwell 1977, 574.
[12] Franklin 1976.
[13] Galilei 1946, Birinci Gün, 62. (BK **28**, 158)
[14] Cooper 1935, 51-2.
[15] Feinberg 1965. Burada bu kaynağın içerdiği hesapları özetliyoruz.
[16] Adler ve Coulter 1978; Casper 1977.
[17] Feinberg 1965.
[18] Casper 1977.
[19] Adler ve Coulter 1978.
[20] Galilei 1946, Birinci Gün, 60-1. (BK **28**, 157-8)
[21] Galilei 1946, Üçüncü Gün, 234-5. (BK **28**, 238)
[22] Galilei 1946, Üçüncü Gün, 236-7. (BK **28**, 239) Bizim Şekil 6.6'mız Galilei'nin (1946, 236) Şekil 106'sından uyarlanmıştır.

III. BÖLÜM

Galilei 1967, 234.
Newton 1934, I. Kitap, I. Yasa, II. Yasa, 13; III. Kitap, Genel *Scholium*, 546-7. (BK **34**, 14, 371)

7. KONU

[1] Bu portrenin bir fotoğrafı Westfall'de (1980b, 482) bulunabilir.
[2] Westfall 1962, 172.
[3] Westfall 1980a, 109.
[4] Newton'un ilk başlarda yaptığı matematiksel çalışmaların burada verilen

özet kronolojisi Whiteside'a (1967-1976, I.-III. Ciltlere Giriş) ve Cohen'e (1970, 45-53) dayanmaktadır.

[5] Bu adına *brachistochrone (brakistokron)* problemi denen ve üzerine yalnızca kütleçekim tarafından etki edilen bir cismin düşerken (her biri farklı yüksekliklerde ama ikisi de aynı dikey düzlemde yer alan) herhangi iki nokta arasında en kısa sürede gitmek için izleyeceği düzgün eğrinin şeklini bulma problemidir. (Modern gösterimle bulunan bir çözümün teknik ayrıntıları için örneğin Cushing'e (1975, 240-1) bakınız.)

[6] More 1934, 475.

[7] Manuel 1968, 388-9.

[8] Bacon 1952, I. Kitap, 104. ve 106. Özdeyişler, 128. (BK **30**, 128)

[9] Newton 1934, İlk basımın önsözü, xvii-xviii. (BK **34**, 1-2)

[10] Newton 1934, III. Kitap, 398-400. (BK **34**, 270-1)

[11] Newton 1934, III. Kitap, Genel *Scholium*, 547. (BK **34**, 371) (M, 93)

[12] Newton 1952, III. Kitap, 1. Bölüm, 28. Soru, 528. (BK **34**, 528)

[13] Newton 1934, I. Kitap, 69. Önerme, *Scholium*, 192. (BK **34**, 131)

[14] Günümüzde bir okuyucunun Newton'un flüksiyonlar yöntemini, bugün öğrendiğimiz haliyle diferansiyel kalkülüsle özdeşleştirmesi kolaydır. $\Delta x \to 0$ gibi limitler almaya alışkınız. Leibniz bunun gibi sonsuz derecede küçük niceliklerle çalışırken, Newton için sıfır limiti alınmayan yalnızca bir tek sonsuz derecede küçük artış $o(\sim \Delta x)$ vardı. Bu noktaya dikkatimi çektiği için Dr. Whiteside'a teşekkür ederim.

[15] Cohen'den (1971, 295) alınmıştır. *Principia*'nın biçimi klasik Yunan geometrisi gibi görünüyor olsa da, kullanılan geometri aslında 'klasik' geometriye yabancı olan limit - sonsuz derecede küçük artış düşüncesinden sık sık yararlanmıştır. Dolayısıyla Newton'un buluş çözümlemesiyle sunuş sentezi arasında kimi zaman öne sürülen ikilik, ne kalkülüsle klasik geometri arasındaki ikiliktir ne de çözümleme ve buluş tekniklerinin birçoğu sunuşunda sentezlendiğinden ötürü keskin bir ikiliktir.

[16] Cohen (1971, 295).

[17] Cohen (1971, 296). Bununla birlikte, Newton tarafından edilen bu sözlere karşın, ters flüksiyonların ilk kez Kepler'in bu iki yasasını kanıtlamakta kullanıldıkları savını destekler hiçbir yazılı kanıt yoktur (Cohen 1971, 79-81). Newton'un amacının, kalkülüsün keşfedilmesi konusunda kendisinin Leibniz'den önce davranmış olduğu savını kanıtlamak olduğu görülüyor.

[18] Newton, 1691 yılında benzer bir başlıkta, *De Quadratura Curvarum* adında bir eser yazdı. Bu, *Optics*'in sonuna eklenen *Tractatus*'dan daha genel bir ayrıntılı incelemeydi.

[19] Newton 1934, I. Kitap, I. Tanım, 1. (BK **34**, 5) (M, 31)

[20] Newton 1934, I. Kitap, II. Tanım, 1. (BK **34**, 5) (M, 32)

[21] Newton 1934, I. Kitap, I. Yasa, 13. (BK **34**, 14) (M, 36)

[22] Newton 1934, I. Kitap, II. Yasa, 13. (BK **34**, 14) (M, 37)

[23] Truesdell 1960-2, 23.

[24] Newton 1934, I. Kitap, I. ve II. Sonuçlar, I. Kitap'taki III. Yasa'dan sonra, 15. (BK **34**, 15) (M, 38) Bizim Şekil 7.1'imiz Newton'da (1934, 15) karşılık gelen şekilden uyarlanmıştır.

[25] Newton 1934, I. Kitap, III. Yasa, 13. (BK **34**, 14) (M, 37)

[26] Newton 1934, I. Kitap, III. Yasa'yı izleyen tartışma, 13-14. (BK **34**, 14) (M, 37)

[27] Newton 1934, I. Kitap, 26. (BK **34**, 22-3)

[28] Mach 1960, 303.

[29] Poincaré 1952, 110.

8. KONU

[1] Burada, temel olarak Newton'un hem tümevarımcı hem de tümdengelimci bir akıl yürütmeler zinciri kullandığı III. Kitap'ta başlarda yer alan önermeler için geçerli olduğunu söylemek istiyoruz.

[2] Newton 1934, III. Kitap, I.-VI. Olaylar, 401-5. (BK **34**, 272-5). 'Jüpiter'in çevresindeki gezegenler' ile 'Satürn'ün çevresindeki gezegenler'in bizim 'uydular' diye söz edeceğimiz şeyler olduklarına dikkat ediniz.

[3] Newton 1934, III. Kitap, 1.-3. Önermeler, 406. (BK **34**, 276)

[4] Westfall 1971, 358.

[5] Huygens 1934, 366. (M, 28)

[6] Jammer 1961, 62.

[7] Jammer 1957, 109-10.

[8] Jammer 1961, 62.

[9] More 1934, 290, 294.

[10] Newton 1934, I. Kitap, 4. Önerme, 45. (BK **34**, 35)

[11] Westfall 1980b, 148-51; Herivel 1965, 7-12; Westfall 1971, 343, 353-5.

[12] Westfall 1980b, 148-51.

[13] Newton 1934, I. Kitap, 4. Önerme, *Scholium*, 47. (BK **34**, 37)

[14] Newton 1934, III. Kitap, 4. Önerme, 407. (BK **34**, 277)

[15] Newton 1934, III. Kitap, 4. Önerme'yi izleyen tartışma, 408. (BK **34**, 277-8)

[16] Newton 1934, III. Kitap, 7. Önerme, 414-15. (BK **34**, 281-2)

[17] Newton 1934, III. Kitap, Genel *Scholium*, 546-7. (BK **34**, 371)

[18] Thayer'deki Bentley'e mektup (1953, 54).

[19] Cohen 1970, 62-4.

[20] Whiteside 1964.

[21] Newton 1934, III. Kitap, 8. Önerme'yi izleyen tartışma, 415-16. (BK **34**, 282)

[22] Cohen 1970, 61; Westfall 1971, 461.

[23] Cohen 1970, 62-4; Westfall 1971, 357-9.

[24] Cohen 1970, 62; Westfall 1971, 424; Cohen 1981.

[25] Newton 1934, I. Kitap, 70. Önerme. 193. (BK **34**, 131)

[26] Bu sonucun geometrik bir kanıtı Cushing'de (1982, 625) verilmektedir.

[27] Cushing 1982, 625-6.

[28] Newton 1934, I. Kitap, 71. Önerme, 193. (BK **34**, 131)

[29] Newton 1934, III. Kitap, 8. Önerme, 415. (BK **34**, 282)

[30] Newton 1934, I. Kitap, 73. Önerme, 196. (BK **34**, 133)

[31] Newton 1934, I. Kitap, 1. Tanım'ı izleyen tartışma, 1. (BK **34**, 5)

[32] Newton 1934, II. Kitap, 24. Önerme, 303. (BK **34**, 203)

[33] (8.6) Denkleminde 2π sabitini yerine koyduk. Bu, sarkacın dikey etrafındaki küçük açısal oynamaları θ için $\ddot{\theta} = -(w/m_i\, l)\,\theta$ dinamik denkleminin çözülmesinden doğrudan doğruya çıkar.

[34] Newton 1934, III. Kitap, 6. Önerme'yi izleyen tartışma, 411. (BK **34**, 279)

9. KONU

[1] Newton 1934, III. Kitap, 13. Önerme, 420. (BK **34**, 286)

[2] Newton 1934, I. Kitap, 1. Önerme, 40. (BK **34**, 32)

[3] Newton 1934, I. Kitap, 2. Önerme, 42. (BK **34**, 34)

[4] Bu geometrik akıl yürütmelerin modern gösterimdeki ayrıntıları Cushing'de (1982) bulunabilir. Bizim Şekil 9.4 ve 9.5'imiz, Cushing'in (1982, 621, 622) sırasıyla Şekil 2 ve 4'ünden uyarlanmıştır.

[5] Eğrilik kavramı, Pergalı Apollonius'un (MÖ 262-200) *Conics*'inde bulunabildiğinden Newton'un zamanında bile yeni bir şey değildi. (Bakınız Heath 1896, V. Kitap, 51. ve 52. Önermeler, 168-78).

[6] Huygens 1920, 387-405. Huygens, eğrilik için ölçütünü 1659 yılında açık bir biçimde ortaya koyduysa da, bunu 1673 yılındaki *Horologium Oscillatorium* adlı çalışmasına kadar yayınlamadı (Bakınız Huygens 1934, III. Bölüm, II. Önerme, 225-42).

[7] Westfall 1980b, 111-12; Whiteside /1967-76, I. Cilt, 146, 289-92, III. Cilt, 152. Modern gösterimle bu ρ eğrilik yarıçapı, $\rho = (1 + z'^2)^{3/2} / |\Delta z/\Delta x|$ diye belirtilebilir; burada $z = \Delta y/\Delta x$ eğriye teğet doğrunun eğimidir.

[8] Bir önceki nottaki ρ ifadesi ve Denklem (9.2), Denklem (9.3)'e ulaştırır. Bu sonucun çıkarılışı için Cushing'e (1982, 621-2) bakınız.

[9] Newton 1934, I. Kitap, 11. Önerme, 56. (BK **34**, 42)

[10] Newton 1934, I. Kitap, 17. Önerme, 65. (BK **34**, 48)

[11] Cushing 1982, 623.

[12] Bu sonucun önemi üzerine çok farklı bir bakış açısı için Weinstock'a (1982) bakınız.

[13] Newton 1934, I. Kitap, 13. Önermeden çıkarılan Sonuç, 61. (BK **34**, 46)

[14] Bizim 11. Önerme'den sonra gelen akıl yürütmelerimizin genel mantıksal yapısı şöyle özetlenebilir: (i) $\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$ bütün dinamiği etkiler, yönetir; (ii) $\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t)$ bir konikse $\Rightarrow f(r) \propto 1/r^2$; (iii) sabit (ve verilmiş) bir kuvvet merkezi için, $(r_0, \theta_0, \alpha_0, \rho_0) \Rightarrow$ tek bir konik; (iv) $(\boldsymbol{r}_0, \boldsymbol{v}_0, \lambda, [f(r) = -\lambda/r^2]) \Rightarrow \boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$'yı her zaman sağlayan tek bir konik; (v) $\boldsymbol{r}_0$, $\boldsymbol{v}_0$ ve λ'nın her değeri için bir konik kesit çözümünün bulunduğu kanıtlandı; (vi) dolayısıyla, $1/r^2$ gibi bir kuvvet yörünge olarak her zaman bir konik kesite sahiptir. Aslında bir kez bir çözümün bulunduğu kanıtlandıktan sonra, durumun fiziğinin geriye kalanı halledeceğini söyleyen akla yatkın bir varsayım bile yapılabilir (Şekil 9.3'ü ve bu kısmın başlangıcında ona eşlik eden tartışmayı hatırlayınız.); (vii) $\boldsymbol{r}_0$ ve $\boldsymbol{v}_0$ birlikte $\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$'ya tek bir çözümü açıkça belirlerler. Önce bir çözümün bulunduğunu kanıtlayıp sonra da bu çözümün tek olduğunu öne sürme tekniği fizikte ve matematikte oldukça bilinen bir şeydir.

[15] Newton 1934, I. Kitap, 42. Önerme, 133. (BK **34**, 91)

[16] Newton 1934, III. Kitap, 2. Önerme, 406. (BK **34**, 276)

[17] Newton 1934, I. Kitap, 15. Önerme, 62. (BK **34**, 46)

[18] Gerekli geometrik ayrıntılar için Cushing'e (1982, 624) bakınız.

[19] Kepler'in üç yasasının Newton'unkilerden özellikle ekonomik bir çıkarılışı için Vogt'a (1996) bakınız.

[20] Moulton 1914, 431-2.

[21] Pedersen 1993, 391.

[22] Pedersen 1993, 381.

[23] Melchior 1966, 2.

[24] Pedersen 1993, 316.

[25] Galilei'nin okyanustaki gelgitler üzerine görüşleri için bakınız Finocchiaro (1989, 119-33).

[26] Galilei 1967, 416-17.

[27] Kepler 1992, 55-6.

[28] Galilei 1967, 419-20.

[29] Galilei 1967, 424.

[30] Galilei 1967, 426.

[31] Galilei 1967, 432.

[32] Finocchiaro'ya (1989, 127-9) da bakınız.

[33] Newton 1934, III. Kitap, 24. ve 37. Önermeler, sırasıyla 435-40 ve 479-81. (BK **34**, 296-99, 324-6)

[34] Newton 1934, I. Kitap, 66. Önerme, 173-89. (BK **34**, 118-28)

[35] Bu, $x = [m/(M+m)]/R_m$, $M = 5{,}98 \times 10^{24}$ kg, $m = 7{,}34 \times 10^{22}$ kg, $R_m = 60\ r_e$ olduğundan böyle çıkar; burada Tablo 5.2'deki verileri kullandık.

[36] Yani, $\tan \phi = r_e/x = (m_0 g - N_d)/(Gmm_0/R'^2)$'dir. (9.9) denkleminin kullanılmasıyla (9.12) denklemini elde ederiz.

[37] Güneş'in Dünya'daki gelgitler üzerine yapacağı gelgit etkilerini bunlar kayda değer olsalar da yalınlık açısından ihmal ettik.

[38] Leuconia'nın Filipinler'le özdeşleştirilmesi gerektiği konusunda Quirino'ya (1963, 69) bakınız. Bu kaynak için British Museum'daki Harita Odası'ndan Bayan Sarah Tyache'ye teşekkür ederim.

[39] Newton 1934, III. Kitap, 24. Önerme, 439-40. (BK **34**, 298-99)

[40] Newton 1934, *Matematiksel İlkelerle Dünyanın Düzeni*, 587.

[41] Peacock 1855, 202-3, 170. (Whittaker 1973, I. Cilt, 101-2) Ünlü çift yarık (ya da çift iğne deliği) deneyiyle ilgili olarak Young'a (1845, 364-5) (M, 310-11) bakınız.

IV. BÖLÜM

Russell 1917, 47-8.

10. KONU

[1] Bu olayların daha eksiksiz bir kronolojisi için Finocchiaro'ya (1989, 297-308) bakınız.

[2] Fahie'de (1903, 150) alıntı olarak verilmektedir.

[3] Drake'de (1957, 162-4) alıntı olarak verilmektedir.

[4] Drake'de (1957, 166-7) alıntı olarak verilmektedir.

[5] Ptolemaios 1952, XIII.2. Kitap,429. (BK **16**, 429)

[6] Drake 1957, 272.

[7] *Kudüs İncili* 1966, 286-7.

[8] Drake 1957, 211-12.

[9] Drake 1957, 212-13.

[10] De Santillana'da (1955, 126) alıntı olarak verilmektedir.

[11] De Santillana 1955, 162-5; Drake 1967, 62; Galilei 1967, 491.

[12] Galilei 1967, 464.

[13] Westfall 1989, 43-52, 74.

[14] Westfall 1989.

[15] Westfall 1989, 59.

[16] Whitehead 1967, 12-13.

[17] Drake 1957, 175, 177, 179-80, 181, 183-4, 186, 188-9, 193-4, 206-7.

11. KONU

[1] Rohrlich ve Hardin 1983, 604-5.

[2] Smith 1974, 276.

[3] Donne 1959, Dindarlık 17, 108.

[4] Lovejoy 1936, 38, 46, 49-50.

[5] Drake 1957, 237-8.

[6] Thayer'de (1953, 6-7) alıntı olarak verilmektedir.

[7] Thayer'de (1953, 7-8) alıntı olarak verilmektedir.

[8] Roemer tarafından yapılan asıl gözlemler, Jüpiter'in uydularının tutulmalarını içeriyordu ve Şekil 11.1'in gerektirdiği kadar kolay değildi; fakat temel ilke aynıydı. Ayrıntılar için Huygens'e (1952, I. Konu, 556-7) bakınız. (BK **34**, 556-7) (M, 335-7)

[9] Lucretius 1952, I. Kitap, 958. paragraf, 12-13. (BK **12**, 12-13)

[10] Aristo 1942b, IV. Kitap, I. Konu, 208^b (9-12). (BK **8**, 287)

[11] Descartes 1977b, II. Bölüm, IV. İlke, 255.

[12] Descartes 1977b, II. Bölüm, XVI. İlke, 262.

[13] *Kudüs İncili* 1966, 139. İlahi, 922.

[14] Koyré'de (1957, 148) alıntı olarak verilmektedir.

[15] Newton 1934, *Principia*'nın ilk baskısının önsözü, xvii. (BK **34**, 1)

[16] Newton 1934, I. Kitap, *Scholium*, 6-7, 10. (BK **34**, 8-11) (M, 33-5)

[17] Newton 1934, I. Kitap, *Scholium*, 10-11. (BK **34**, 11-12) (M, 35-6)

[18] Newton'un savı şöyle 'genişletilebilir': Su bir kez dönmeye başlayınca kovayı aniden durdurun ve suyun dönmeye devam etmesine izin verin. Deneyin başlangıcında, kova yüzeyi hâlâ düzgün olan suya göre hareket ederken ve en sonunda, yüzeyi içbükey olan su kovaya göre hareket ederken, görece dönüş hızları aynı olduğu (ya da aslında yalnızca yönleri ters çevrilmiş olduğu) halde fiziksel durumlar (suyun yüzeyinin şekli değişmiş olduğundan) birbirlerinden farklıdır. Bu, dairesel hareketin yalnızca göreli hareket değil, mutlak hareket olduğunu da belirtirdi. Bakınız Jammer (1969, 107-8).

[19] Mach 1960, 284; 279'a da bakınız.

[20] Newton 1934, III. Kitap, I. Hipotez, 419. (BK **34**, 285)

[21] Newton 1952, III. Kitap, I. Bölüm, 28. Soru, 529. (BK **34**, 529)

[22] Newton 1952, III. Kitap, I. Bölüm, 31. Soru, 542. (BK **34**, 542)

[23] Thayer 1953, 46.

[24] Bu uzay kavramının bir bireyselleştirme ilkesi oluşunun tarihi hakkında Howard'a (1997) bakınız.

[25] Uzayın bu iki görüşü üzerine Einstein'ın Jammer'daki (1969, xiii–xiv) tartışmasına bakınız.

[26] Galilei 1967, *Önsöz* (A. Einstein), xiii.

[27] Bloch 1976, 27.

12. KONU

[1] Burada, Miletus'daki ilk düşünürlerden atomculara (Leucippus ve Democritus) dek uzanan tarihi gelişmelerin izlemek zorunda oldukları herhangi bir basit doğrunun bulunduğu anlamına gelecek bir şeyler söylemek niyetinde değiliz. Aksine, üzerinde durulmak istenen nokta, geriye dönülüp bakıldığında bu birbiriyle bağlantılı kavramların bazıları arasında belirli bir uyumun görülebileceğidir.

[2] Newton 1934, III. Kitap, I. Kural, 398. (BK **34**, 270)

[3] Meyerson 1930.

[4] Newton 1952, III. Kitap, I. Bölüm, 28. Soru, 529. (BK **34**, 529) (İtalik yazıları ben italik yaptım.)

[5] Newton 1952, III. Kitap, I. Bölüm, 31. Soru, 542. (BK **34**, 542) (İtalik yazıları ben italik yaptım.)

[6] Laplace 1902, 3–4.

[7] Newton'da (1934, Ek, 677) alıntı olarak verilmektedir; Laplace 1886, vi–vii.

[8] Newton'da (1934, Ek, 677) alıntı olarak verilmektedir.

[9] Merkezi kuvvet problemi ve ondan sonra gelen basit küçük sapmalar üzerine bu gereçler klasik mekanik hakkındaki orta zorluk düzeyindeki ders kitaplarında standart olarak bulunan malzemelerdir. Örnek olarak Becker'a (1954, 237–9) bakınız.

[10] Bu tür sistemleri anlatmakta kullanılan birçok denklem örneği Schuster'de (1988, 7, 17), Rasband'da (190, 4) ve Guckenheimer ve Holmes'ta (1983, 67, 82, 92) bulunabilir.

[11] Bu konunun sonunda kaos üzerine kaynak olarak verilen teknik kitaplar, burada anılan örnekler üzerine ayrıntılı malzemeler içerirler. Kolayca kurulabilen sistemlerde kaotik davranışın laboratuvar deneyleriyle gösterilmesi üzerine bir inceleme için Briggs'e (1987) bakınız.

[12] Teknik olarak bu, Kısım 12.5'te tanımı verilecek olan (bildiğimiz uzayın tersine) *faz uzayı*nda izlenen yörüngelerin ayrılmasıdır.

[13] Diferansiyel denklemlerin çözümlerinin özellikleriyle 'kesikli' karşılıklılıklar arasındaki bu bağlantının nasıl olabileceği üzerine bir örnek olarak, üç boyutlu uzayda sınırlı bir bölge içerisinde kalan ve burada hareket eden $[x(t), y(t), z(t)]$ gibi bir yörüngeyi belirleyen bir diferansiyel denklemler kümesini ele alınız. Şimdi bu bölgeden bir düzlem geçiriniz ve sistemin yörüngesinin bu düzlemle olan kesişiminin ne olacağının belirlenmesini isteyiniz. Sistemin noktasının hareketi, yörünge zaman geçtikçe bu düzlemi tekrar tekrar delip geçmeye devam edecek şekilde olursa, bu birbiri ardı sıra gelen kesişim (ya da yinelenme) noktalarını bir karşılıklılık olarak düşünebiliriz. Eğer (u_n, v_n) sistem yörüngesinin düzlemimizle $n$inci yinelenme anındaki kesişim noktasının koordinatlarını belirtirse, bir sonraki yinelenme anında elde edilecek noktanın koordinatlarını $(u_{n+1}, v_{n+1}) = f(u_n, v_n)$ karşılıklılığı olarak yazabiliriz. Bu karşılıklılığın uzun vadedeki davranışı bize sistem yörüngesinin uzun vadedeki davranışı hakkında bilgi verir.

[14] Schuster'de (1988, 4) de belirtildiği gibi, lojistik fonksiyon ile ilgili bu gereçler

oldukça bilinen ve bir hayli eski şeyler olsa da, Şekil 12.2, 12.3 ve 12.4, Jensen'in (1987, 170, 174, 175) sırasıyla Şekil 2, 4 ve 5'inden uyarlanmıştır. Rasband'a (1990, 2. Konu) da bakınız.

[15] Yani, Denklem (12.5)'te y'nin maksimum değeri a'nın herhangi bir değeri için Şekil 12.2'den de açık olarak görülebileceği gibi $x = 1/2$'de yer alır. Bu maksimum değer tam olarak $a/4$'tür.

[16] Jensen 1987; Rasband 1990, 13.

[17] Burada 'kararlı' ile sabit noktadan uzaklaşan küçük sapmalara karşı kararlı olduğunu anlatmak istiyoruz.

[18] (Bir doğru ya da düzlem üzerindeki) bir rasgele yürüyüş probleminde, birbiri peşi sıra eşit boylarda adımlar atılır, ancak her adımın atıldığı yön rasgele (örneğin yazı tura atılarak) seçilir. Sonrasında yürüyüş yapanın N adım atıldıktan sonra belirli bir konumda bulunması olasılığının belirlenmesi istenebilir.

[19] Ford 1983, 43.

[20] Kaos kuramının temel öneminin biraz diğerlerinden ayrılmış ve kişisel bir değerlendirmesi için Dresden'e (1992) bakınız. Kaosu tartışmamızda *fraktallardan söz etmekten kaçındık*; çünkü bu konu belirlenimci kaosun içerdiği kavramsal sorunların anlaşılmasında pek yardımcı olmaz. Yani fraktallar ortaya gösterişli grafikler çıkarırlar, ama bu düzeydeki bir incelemede kaos kavramının anlaşılmasında gerçekten de yardımcı oldukları çok açık değildir.

Genel Referanslar

Genel olarak geri planla ilgili bilgi ve tarih üzerine başlıca kaynak kitaplar için, kolayca elde edilebilir referanslardan birkaçını burada anıyoruz.

Yeni Britannica Ansiklopedisi, 15. Baskı (Britannica Ansiklopedisi, Chicago, 1977). *Mikropedia*, düşünürler ve bilim adamları üzerine biyografik malzemeler için erişilmesi kolay bir kaynaktır.

Robert M. Hutchins (editör), *Batı Dünyasının Büyük Kitapları* (Britannica Ansiklopedisi, Chicago, 1952). Bu (İngilizce) elli dört ciltlik eserde, Batı geleneğindeki en büyük düşünürlerin birçoğunun en önemli çalışmaları bulunabilir. Bu kitapta, olası her seferde verilen doğrudan alıntıların kaynağı olarak bu eseri kullandık. *Notlar* kısmında bu kaynak, ilgili cilt ve sayfa sayıları hemen ardından belirtilmek üzere, BK olarak kısaltılmıştır.

Charles C. Gillispie (editör), *Bilimsel Biyografi Sözlüğü*, 14 cilt, (Charles Scribner's Sons, New York, 1970-6). Bu kaynak, bilim tarihindeki büyük-küçük hemen hemen herkes üzerine ayrıntılı ve güvenilir biyografik malzeme sağlıyor ve her birinin bilime katkılarını özetliyor. *Notlar* kısmında bu kaynak, ilgili cilt ve sayfa sayıları hemen ardından belirtilmek üzere, BBS olarak kısaltılmıştır.

Morris R. Cohen ve I. E. Drabkin (editörler), *Yunan Biliminde Kaynak Bir Kitap* (Harvard Üniversitesi Yayınları, Cambridge, MA, 1948). Matematik, gökbilim ve fizikle ilgili kısımları, eski Yunanlıların bu konular üzerine olan çalışmaları için yararlı bir referans sağlar.

William F. Magie, *Fizikte Kaynak Bir Kitap* (Harvard Üniversitesi Yayınları, Cambridge, MA, 1963). Bu, yaklaşık olarak 1600'den 1900 yılına kadar

yaşamış olan bilimsel açıdan önemli birçok kişinin çok kısa biyografik öyküsünü olduğu gibi, bu kişilerin çalışmalarından alıntılar da içerir. Bu önemli zaman aralığı için özgün tarihi malzemelere ulaşımı arttırmak amacıyla, başlıca kaynakları ayrıntılı olarak belirtmenin yanında, olası her yerde bu esere de referans verdik. Bunlar, ilgili sayfa sayıları hemen ardından belirtilmek üzere, parantez içerisinde M ile listelenmişlerdir. Konularda alıntılandıkları halleriyle metinler, ara sıra asıllarından yapılan çevirilerdeki değişimlerden ötürü Magie'ye danışıldığında bulunanlardan bir parça da olsa farklı olacaktır.

Paul Edwards (editör), *Felsefe Ansiklopedisi*, 8 cilt, (Macmillan Yayımcılık Şirketi, New York, 1967). Burada, günümüzün uzmanları tarafından yazılmış denemelerde antik çağlardan modern çağa dek yaşamış önemli düşünürler üzerine biyografik bilgiler ve bu kişilerin konumları için özet görüşler bulunabilir.

Anton Pannekoek, *Gökbilim Tarihi* (Dover Yayımcılık, New York, 1989). Bu kitap, antik çağlardan modern çağa dek gökbilimdeki gelişmeler için iyi bir özet verir.

Shmuel Sambursky, *Socrates Öncesi Düşünürlerden Kuantum Fizikçilerine Değin Fiziksel Düşünce* (Pica Basımevi, New York, 1975). Bu kitap, çeşitli tarihi dönemler üzerine tanıtıcı denemelerle felsefi yazılardan alıntılar içerir.

Sir Edmund Whittaker, *Eter ve Elektrik Kuramlarının Tarihi*, 2 cilt, (Humanities Basımevi, New York, 1973). Bu, elektrik ve manyetizmanın, atom fiziğinin ve çekirdek fiziğinin, kütleçekimin ve kuantum mekaniğinin eski çağlardan 1925 yılına dek tarihinin konuya egemen ve titiz bir sunumudur. Whittaker öne çıkan bir kuramsal fizikçiydi ve çeşitli tarihi gelişmeler önemli teknik ayrıntılarıyla ele alınmıştır.

Henry A. Boorse ve Lloyd Motz (editörler), *Atomun Dünyası*, 2 cilt, (Basic Books, New York, 1966). Bu iki harika referans cildinin temel ilgi merkezi atomik, nükleer ve kuantum kuramının içeriği ve tarihidir. Bu kitaplarda, yaklaşık olarak 1600 yılından günümüze dek yaşamış birçok bilim adamı üzerine biyografik denemeler, çalışmalarının betimlemeleri, çözümlemeleri ve yazılarından (tümü İngilizce) alıntılar vardır.

Dizin

61 Cygni, 

A

a priori (ya da önsel): tanımı, 30, 38 (4); bu tür akıl yürütmenin örnekleri, 123, 258
açısal momentum, 148
ad hoc: tanımı, 33, 34, 97; bu tür anlatımların örnekleri, 81, 240
Adams, J., 190, 237
Adler, A., 51, 59
Aeolus, 26
ağırlık: üzerine Aristo, 30, 31, 33, 39-41 (18); üzerine Descartes, 242; üzerine Newton, 171 ; -ın bir ölçüsü olarak hız 30, 40, ; gelgit dalgaları ve -, 196 *Bkz* hareket
Airy, G., 237
Alpha Centauri, 74
Alpha Lyrae. 74 *Bkz* Vega
ampirist, 15, 37, 38
Anaksagoras, 257
Anaksimandros, 26, 256
Anaksimenes, 26, 256
Andromeda, 16
anima motrix. 101, 218 *Bkz* Kepler
annus mirabilis. 137 *Bkz* Newton
Ares, 26
Aries, 69, 71
Aristarchus, (16); Güneş'in ve Ay'ın Boyutları ve Uzaklıkları, 72, 76, 85-87, 90, 96
Aristo, 5, 6, 23, 24, 55, 82; eter üzerine, 27; ve gökbilim, 82; ve Bacon, 38, 39; ilk ilkeler üzerine, 6, 8; form ve madde üzerine, 6; *Gökler Üzerine*, 26; bilgi üzerine, 7; ve maddeci felsefe, 33; hareket üzerine, 30-34, 39-43, 75, 258; doğa üzerine, 27, 28; *Fizik*, 8; potansiyel ve gerçeklik üzerine, 28; duyu deneyimi üzerine, 7, 24; Dünya'nın şekli üzerine, 27; uzay üzerine, 241, 242; hız ve ağırlık üzerine, 30, 40; organizma olarak evren üzerine, 26-30. *Bkz* Galilei
Arşimet, 72
Athena, 111
Atina'daki Akademi, 7
Augustine, St., 137
Ay, 28, 74, 75, 80; ve Galilei'nin gözlemleri, 207; ve Newton'un kütleçekim yasası, 137, 138, 164, 165, 168; ve gelgit dalgaları, 191-202. *Bkz* Jüpiter; Satürn
Ayscough, H., 135

B

Babilli Seleucus, 191
Babilliler, 83
Bacon, F., 34, 35; ve Aristo, 23, 38; tümevarım üzerine, 37, 55; aksiyomlar merdiveni, 38; *Yeni Organon*, 34, 36, 142, 259; bilim üzerine, 45, 47. *Bkz* tümevarım
Bacon, N., 35
Bacon, R., 45
Barberini, F., 222
Barberini, M. (VIII. Urban), 220
Barrow, I., 136, 138, 244
belirlenimcilik, 256, 262-267, 279 (21)
belirsizlik; klasik, 262
Bellarmine, R., 212; Galilei'ye yönelttiği suçlama, 211; Kopernikçi sistem ve Galilei üzerine, 208, 211-215
Berkeley, G., 247
Bernoulli, J., 141
Bessel, F., 74, 236
bilim felsefesi, 21, 33, 45, 58, 60, 142, 208 *Bkz* bilimsel yöntem
bilim: -deki inanç öğesi, 46; -in bir modeli olarak geometri, 13; doğal, 9; ve fikir, 7; ve din, 223, 258; dinbilimsel temelleri, 247, 258; doğru (gerçek) olarak, 7 *Bkz* Galilei; Mach; Newton; Planck; Popper
bilimsel bilgi, 17, 54, 55, 56, 60 *Bkz* bilimin nesnelliği; bilimsel yöntem
bilimsel yöntem, 8 *Bkz* Aristo; Bacon; Descartes; Duhem; Einstein; Galilei; Mach; Newton; Planck; Popper
binom teoremi, 137 *Bkz* Newton
Bloch, F., 252
Bonaparte, N., 264
boşluk,: Aristo fiziğinde, 28-42, 112-116, 242
Boyle, R.,; yasası, 136, 283 (11)
Bradley, J., 74
Brahe, T.,; Tycho Brahe'nin modeli, 98-101, 214, 232
brakistokron, 287 (5)
Buridan, J., 46, 113, 114
Büyük Ayı, 68
Büyük Gregory, 67
Büyük İskender, 23, 24

C-Ç

Caccini, T., 208
Caesar, J., 67
Calvin, J., 92
Carnap, R., 249
Castelli, C., 208-210
Castileli X. Alfonso, 81
Cavendish, H., 166, 238
Challis, J., 237
Cizvitler, 12, 219-222
Clarke, S., 247
Clavius, C., 215, 219-222
Coke, E., 247
Columbus, C., 215, 219, 223
Cosimo II, 115, 209
Cotes, R., 234
Cusalı Nicholas, 214
çift yıldızlar, 74
çürütme,. *Bkz* yanlışlama 51; Popper 51, 54, 55, 58, 60

D

da Vinci, L., 46
dairesel hareket: ve eski insanlar, 27, 75, 78, 213; ve Kopernik, 86, 258; ve Cusa, 214; ve Galilei, 63, 158; ve Kepler, 100; ve Ptolemaios, 78
dallanma, 275, 280
Darwin, C., 50
De Revolutionibus, 84, 89, 91, 92, 98, 208, 210, 214, 231 *Bkz* Kopernik
değişmez nokta, 274-275
Demeter, 26
Democritus, 26, 240, 257, 291 (1)
deney (bilimdeki rolü), 14, 15, 45, 47-51, 215;

üzerine Bacon, 37, 259; üzerine Galilei, 115, 124, 286 (8); üzerine Kepler, 100;üzerine Newton, 142; gözleme karşı, 24 *Bkz* bilimsel yöntem
Descartes, R., 11, 39, 55, 136; eter üzerine, 158; kesin bilgi üzerine, 11-14; ilk ilkeler üzerine, 11; ve eylemsizlik, 120; sezgi üzerine, 12; madde ve uzay üzerine, 242
Devereux, R. (Essex Kontu), 35
dışmerkezlilik 76, 80, 89, 94, 97, 104, 106, 107, 181
dinamik, 116, 149, 169, 176, 183, 185, 272, 280
doğa. *Bkz* Aristo
doğrulama, 47, 50, 51, 142, 211, 227
doğrultman doğrusu, 107, 109, 181
Donne, J., 231
Duhem, P., 88, 114

E

Eddington, A., 59
eğik atış. *Bkz* hareket 25, 33, 112, 119, 127
eğrilik yarıçapı, 181, 182, 184, 185, 289, 296 (5-7)
eğrilik, 181, 183, 186 *Bkz* eğrilik yarıçapı; uzay
Ehrenhaft, F., 16, 21
Einstein, A., 3, 5, 51, 59, 154, 248-253, 291; uzayın doğası üzerine, 248-253, 291 (25); fizik üzerine, 3;bilim ve amaçları üzerine, 3; bilimsel bilgi üzerine, 3, 14; *Bkz* görelilik, genel kuram; görelilik, özel kuram
ekinoks, 66, 67
ekliptik, 69, 70, 74, 76, 79, 102, 217
ekuant, 79, 80, 81, 89, 90, 97, 258 *Bkz* Kopenik; Ptolemaios
elektron, yükü, 16
element (dört temel), 26-31, 221, 241, 256, 257
el-Kindi, 191
Engizisyon, 115, 210, 219, 222
epistemolojik, 269 *Bkz* ontoloji
Eratosthenes, 71, 72, 85, 284 (2)
eter: mutlak bir koordinat sistemi olarak, 249; *Bkz* Aristo; Descartes; Newton.
etkili kuvvet, 112-114 *Bkz* kuvvet
Eudoxus, 75, 83, 107, 229
Euler, L., 151, 248, 260
evren modelleri. *Bkz* Aristarchus; Brahe; otomatik evren; Kopernik; Dünya merkezli model; Galilei; Güneş merkezli model; insan merkezli küre modeli; Ptolemaios; görelilik, genel kuram; iki küre modeli
eylemsizlik, 120-122, 150, 154-156, 171, 233

F

Faraday, M., 142
Fates, 26
faz uzayı, 275, 291 (12)
felsefe (etimolojisi), 6
Filipinler, 199
fizik (etimolojisi), 8
flüksiyon, 117, 137, 138, 146 *Bkz* kalkülüs
Frank, P., 21, 156, 249
Freud, S., 51,59

G

Galilei, G.,: Aristo ve hareket üzerine, 122-126; ve Bellarmine, 218, 219; ve deney, 117, 124 (8); kütleçekim üzerine, 133; ve eylemsizlik, 63, 120, 121, 158, 233; Kutsal Kitap'ın yorumlanışı üzerine, 215, 225, 226; ve Cizvitler, 208, 219, 223; ve Pisa'nın Eğilen Kulesi, 115, 124; matematik üzerine, 232; doğal olarak ivmelenen hareket üzerine, 63, 114-118; eğik atış üzerine, 119, 120; ve gerçekçilik, 214; ve bilimsel yöntem, 45, 46, 259; ve yalınlık, 63, 286 (6); gelgit dalgaları üzerine, 191, 192, 220, 289 (25); ve teleskop, 115, 232; ve VIII. Urban, 219-223

Galle, J., 190, 237
Gauss, C., 250
gelgit (dalgaları), 176, 191-202, 220, 234
geometri, 7 *Ayrıca Bkz* uzay
gerçekçilik: nesnel bir gerçekliğin var oluşu, 7; bilimsel, 82, 213-215 *Bkz* yararlılık
gezegenler,; üzerine gökbilimsel veriler, 104; -e olan uzaklıklar, 75, 95
Gilbert, W., 34, 36
girişim,; gelgit dalgalarının -i, 198, 201
Gödel, K., 249
gökbilim, 82 *Ayrıca Bkz* yararlılık; Platon; Ptolemaios; gerçekçilik gökküre, 68-71
görelilik, genel kuram, 173; ve günberisindeki yalpalama, 239; ve Popper, 49, 59 *Bkz* uzay
görelilik, özel kuram, 249 *Bkz* Einstein
günberi, 103; Merkür'ün -sindeki kayma, 238
gündönümü, 67
Güneş merkezli model, 53, 90-97, 115, 209, 217, 231; ve gezegenlerin yörüngelerinin boyutları, 95; ve Merkür-Venüs problemi, 95, 96 *Bkz* Aristarchus; Kopernik; Galilei
Güneş: ve gökküre, 68, 69; ve pusula yönleri, 66; ve Galilei, 217, 218; Dünya merkezli modelde, 68, 69, 74; Güneş merkezli modelde, 89; ve tümevarım üzerine Hume, 48; -'in boyutu ve -'e olan uzaklık, 85-87; ve mevsimler, 66; ve gelgit dalgaları, 289 (37)
günöte, 105, 133

H

Halley, E., 140, 168
hareket: nedeni, 32, 150; zorlama (doğal olmayan), 28, 112; üzerine Lucretius, 31; doğal, 27; doğal (düzgün) olarak ivmelenen, 63, 114-119; eğik atış, 119 *Bkz* Aristo; dairesel hareket; Galilei; Newton
Harvey, W., 34, 47
Heisenberg, W., 252
Henderson, T., 74
Heraclitus, 257
Hermesçi gelenek, 137, 139
Herschel, J., 14-17, 236
Herschel, W., 74; Neptün'ün keşfi, 190, 236; bulutsu, 16
himaye sistemi, 223
hipotetik-tümdengelimsel yöntem, 52, 53, 234
hipotez (bilimde), 17, 37, 47, 49-53, 142 *Bkz* ilk ilkeler; Newton
Hipparchus, 78, 112 (16)
Hobbes, T., 223, 224
Homer, 26
homojen, 240
Hooke, R., 139; ışık üzerine, ; gezegenlerin yörüngeleri üzerine, 140, 168
horror vacui, 116, 230
Howard, T. (Suffolk Kontu), 35
Hume, D., 15, 39, 48, 49, 53, 56, 82 *Bkz* tümevarım
Huygens, C.: ve mutlak uzay, 247; merkezcil kuvvet üzerine, 160; ve eğrilik, 181, 288 (6); eylemsizlik üzerine, 120, 121

I-İ

I. Elizabeth, 34, 35
I. James, 34, 35
İbni Bajjah, 113
İbni Rüşt, 113
İbni Sina, 113
II. Frederick, 99
II. Philip, 23
II. Rudolph, 99, 101
iki küre modeli, 72, 73, 230
ilk ilkeler, 8, 11-14, 52 *Bkz* hipotez
ilmek, 77, 97
İskenderiye, 71
istatistiksel mekanik, 283 (11)

itki kuramı. 111
izleyen sonuç, 54
izotropik, 242

J

Jefferson, T. 6
Joshua, 217, 218
Jüpiter, 74, 148, 190, 235;
uyduları, 159, 208, 210, 232, 235

K

kalkülüs, 46, 117, 135-142, 146 (14, 15, 17) *Bkz* Newton
kaos, 190, 256, 266 (20); örnekleri, 270; ve doğrusal olmama, 271; ve öngörü, ; ve başlangıç koşullarına duyarlılık, 270, 275, 278, 291 (12); ve raslantısallık, 278, 279, 292 (18). *Bkz* fonksiyonlar
Katalog (yasak kitaplar), 92
kelebek etkisi, 271
Kepler, J., 35, 83, 99, 101, 259; *anima motrix*, 101, 218; ve nedenler, 84; -'in gezegenlerin hareketi için yasaları, 99-106; Mars'ın yörüngesi, 100; ve gerçeklik, 214; ve düzgün yüzlü cisimler, 100, 241; gelgit dalgaları üzerine, 192
kinematik, 116
klasik mekanik, 151, 153;
mantıksal yapısı, 153-156
Kneller, G., 135
konik kesit, 106-109; elips, 106;
hiperbol, 107; parabol, 107
Kopernik, N., 90, 91, 100; -'un Aristocu bağlılıkları, 89; *De Revolutionibus*, 84; ve ekuant, 89; evren modeli, 90-99; ve gerçeklik, 83; ve evrenin boyutları, 72; gezegenlerin yörüngelerinin boyutları üzerine, 95, 96 *Bkz* Güneş merkezli model
Kopernikçi model. *Bkz* Kopernik; Güneş merkezli model
kuantum mekaniği, 262
kuram (yasa), 18, 47-49, 54, 229, 283 (11)
Kutup Yıldızı. 68
kuvvet, 146, 151, 154, 155; merkezi, 147, 170, 176; merkezkaç, 160; merkezcil, 160; etkili kuvvet (itki) 111, 112 *Bkz* Newton
Kuzey Yıldızı. *Bkz* Kutup Yıldızı
küçük sapmalar: 189; ve yeni gezegenlerin keşfi, 190, 236; ve Merkür, 238; -a karşı kararlılık, 189, 266 *Bkz* kaos
kütleçekim, . *Bkz* görelilik, genel kuram

L

Lagrange, J.-L., 189, 190, 248, 260
Laplace, P.-S., 189, 248; belirlenimcilik üzerine, 263; ve Neptün'ün keşfi, 236;
Lateran Konseyi, 91
Leibniz, G., 141, 259, 287 (14); ve uzayın doğası, 247; ve yeterli neden ilkesi, 259; ve Newton'la öncelik konusunda tartışma, 141, 287 (17)
Leucippus, 257 (1)
Leuconia, 199 (38)
Leverrier, U., 190, 237, 239
Lincean Akademisi, 219
lojistik fonksiyon, 273-279
Lorraineli Christina, 210
Lowell, P., 237, 238
Lucretius, 31, 241, 243, 252
Luther, M., 92, 214

M

Mach, E., 248; mutlak uzay üzerine, 246-248; klasik mekanik üzerine, 154; ve Einstein, 248; bilim üzerine, 260
maddeci felsefe, 33, 255 *Bkz* mekanikçi felsefe
Maestlin, M., 99
Makedonyalı II. Amyntas, 23
mantık, 3-11; tümdengelimsel, 55
mantıksal ampirisizm. *Bkz* mantıksal pozitivizm

mantıksal pozitivizm, 248 *Bkz* yararlılık
Mars, 74, 92, 100; tanrı, 26
Marx, K.; 51, 59
Maupertuis, P.-L. de, 259, 260
Maxwell, J., 142
McMullin, E., 21, 130, 156
mekanik. *Bkz* Aristo; Galilei; hareket; Newton
mekanikçi felsefe, 26, 137
Ayrıca Bkz maddeci felsefe
Menaechmus, 107-109
merkezcil kuvvet. *Bkz* kuvvet
merkezi kuvvet. *Bkz* kuvvet
merkezkaç kuvveti. *Bkz* kuvvet
Merkür, 74, 95, 97; günberisindeki kayma, 238
Merton teoremi, 114
mevsimler, 66
Meyerson, É., 260
Milet, 256
Mill, J., 38, 48, 49, 53, 56, 57 *Bkz* tümevarım
Millikan, R., 16, 21
momentum, 120, 146, 150
More, H., 136, 137, 243, 244

N

nedensellik: Hume'un - üzerine görüşleri, 48 *Bkz* neden; belirlenimcilik
Newcomb, S., 190
Newton, I. (baba), 135
Newton, I., 35, 47, 55, 135-143, 224, 231; mutlak uzay üzerine, 146, 244-248, 290 (18); mutlak zaman üzerine, 146; bir uzaklıkta etki üzerine, 167; eter üzerine, 137-145; ve simya, 135-139; *annus mirabilis*, 137; binom teoremi, 137; kalkülüs, 117, 135-142, 146, 147 (14,15,17); merkezcil kuvvet, 160-164; ve eğrilik, 181 (5); kütleçekim, 133, 137, 148, 149, 157, 165-171; ve Halley, 140; hipotezler üzerine, 133, 144; eylemsizlik üzerine, 120; girişim üzerine, 198; ters-kare yasası, 159-164; ve Kepler'in yasaları, 143, 157-164, 180-187 (14); hareket yasaları, 146, 149-153; optik, 136; ve küçük sapmalar, 189; ve bilim felsefesi, 142-145; *Principia*, 122, 146-149; uzay ve Tanrı üzerine, 244
Nicomachus, 23
nominalizm, 258

O-Ö

Ockhamlı William, ; usturası, 46
odak, 102, 107, 185
Oldenburg, H., 161, 234
ontoloji, 269 *Bkz* epistemolojik
optik. *Bkz* Hooke; Huygens; Newton; Young
Oresme, N., 46, 114
organizma, 26-30
Orion, 16
Osiander, A., 84, 92
otomatik evren, 265-270
Öklit, 7, 13 *Bkz* uzay
öncül, 10
öngörü, 47, 54; *Bkz* kaos; yanlışlama
özel görelilik. *Bkz* görelilik, özel kuram

P

Pappus, 107
parabol. *Bkz* konik kesit; Galilei
paralaks. *Bkz* yıldız paralaksı
Pergeli Apollonyus, 107
periyodik, 188, 190
Philoponus, J., 112, 113, 242
Planck, M., 53; bilimin doğası üzerine, 15;
Platon, 6, 23; ve gökbilim, 75, 82; *Form*lar, 7; bilgi üzerine, 7; ve maddeci felsefe, 33; fikire karşı bilim üzerine, 7; uzay üzerine, 241; -'nun evren görüşü, 26 *Bkz* Socrates
Plüton, 237
Poincaré, H.: bilimdeki kabuller üzerine, 155; klasik mekaniğin mantıksal yapısı üzerine, 155; Güneş Sistemi'nin

kararlılığı üzerine, 190
Poisson, S.-D., 190, 248
Popper, K.: yanlışlama üzerine, 4, 49-53, 56-60
Poseidon, 26
Pozitivizm. *Bkz* mantıksal pozitivizm
Principia. *Bkz* Newton
Ptolemaios, C., 78, 82, 83, 99; *Almagest*, 78; gökbilim üzerine, 213; ekuant, 79; -'un evren modeli, 53, 78-81, 94, 98 *Bkz* Dünya merkezli model
Pythagoras, 257; teoremi, 251

Q

Quine, W., 4, 51, 55

R

Raleigh, W., 35
raslantısallık. *Bkz* kaos
rasyonalist, 14
retrodüksiyon. *Bkz* hipotetik-tümdengelimsel yöntem
Rheticus, G., 91
Riemann, B., 250
Rodoslu Poseidonios, 191
Roemer, O., 235, 236 (8)

S

Sagredo, G.,126
Salviati, F., 120, 124, 126, 127, 158, 221
Satürn, 74; -'ün uyduları, 148, 159
Saygıdeğer Bede, 191
Schlick, M., 249
Shakespeare, W., 34, 98
silojizm, 9
Simplicio, 120, 126, 127, 222
Simplicius, 82, 214, 221
simya, 135
Smith, B.,
Socrates, 6, 7, 26
sonuç. *Bkz* neden
Sorular. *Bkz* Newton (*Optics*)
stadyum, 284 (2)
standart fonksiyon, 275
Struve, F., 74
Syene (Aswan), 71, 72

T

takımyıldız, 70; Zodyak'ın -ı, 70
takvim, 67; reform, 91
taşıyıcı, 77, 79
teleonomi, 29 *Bkz* neden; en yüksek/en düşük olma ilkesi
ters-kare yasası. *Bkz* Newton
Thales, 26, 256
Tombaugh, C., 237
Tonkin Körfezi, 199
Torricelli, E., 116
tümdengelim, 3, 9
tümevarım, 3
türbülans, 271

U

Uranüs, 16, 104, 190, 236, 237
uzay: mutlak, 146, 244-248; Öklit, 13; Öklit olmayan, 13, 250; fiziksel -a karşı matematiksel, 248-253; üzerine görüşler, 240-244 *Bkz* madde ve uzay; Newton; plenum; görelilik, genel kuram

V

varsayılan önerme, 9, 283 (4)
varyasyon ilkesi, 260 *Bkz* en yüksek/en düşük olma ilkesi
Vega (Alpha Lyrae), 74
Venüs, 74, 75, 95, 97, 100, 104, 159, 239
VIII. Urban. *Bkz* Barberini 219, 220
Viyana Okulu, 249
Voltaire, F.-M., 259
Vulcan, 239

W

Whitehead, A., 224, 265
Wren, C., 140, 168

Y

yararlılık (enstrümentalizm), *Bkz* mantıksal pozitivizm
yasa. *Bkz* kuram
Yeni platonculuk, 137
yeterli neden ilkesi, 259
yıl, 51, 67, 99
yıldız paralaksı, 59, 73; ölçümü, 76
yıldız sapması, 74
Young, T., 198, 200

Z

zaman: mutlak, 146; bağımsız bir değişken olarak, 117
Zeus, 111
Zodyak. 70, 71, 74, 75 *Bkz* takımyıldız



Fizikte Felsefi Kavramlar, bilimdeki ilerlemeleri, oluştukları tarihsel ve düşünsel ortamları göz önünde tutarak ele alıyor. Bilimsel bilgi, zaman içinde kabul edilegelen kesinliği ve nesnel keşif yöntemi yüzünden, özünde diğer bilgi çeşitlerinden farklı olarak algılanır. Birçokları tarafından anlaşılan haliyle fizik ve felsefe, herhangi iki entelektüel disiplinin birbirlerinden uzak olabileceği kadar ayrı durdukları izlenimini verir. Bununla birlikte kitapta, fizik ve felsefenin bugüne dek gösterdikleri ve hâlâ da sürdürdükleri, gelişimleriyle ilgili karşılıklı etkiler örnekleriyle açıklanıyor. Temel düşünsel sorunlar, tarihsel bağlamda ve konuyla ilgili bilimsel etkinliğin asıl içeriğine sadık kalınarak ele alınıyor. Kitabın önemli amaçlarından biri de düşünsel olarak göz önünde tutulanların, bilimin asıl uygulamasında ve bilimsel kuramların yapımında oynadıkları esas rolün okuyucunun zihnine kazınması.

ISBN: 975-8362-29-1

9 789758 362295 01

Fiyatı: 16.000.000 TL (KDV Dahil)