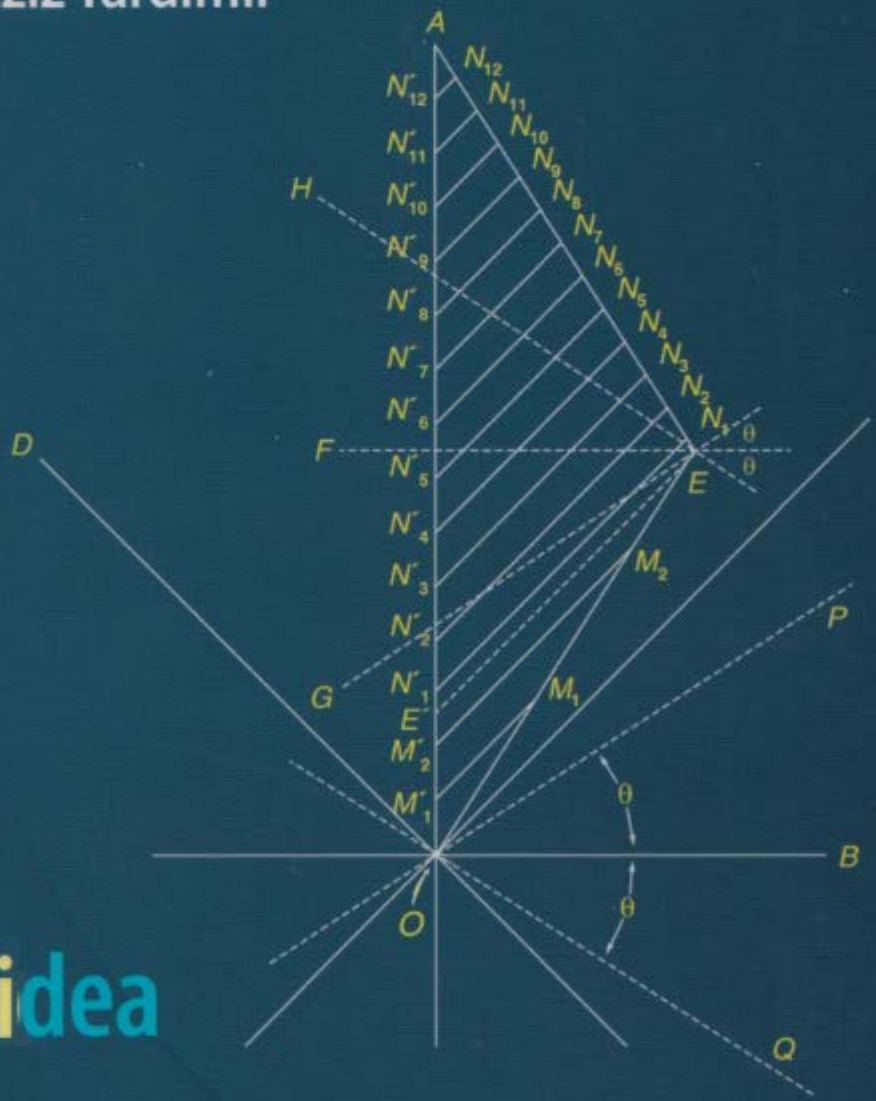
Özel Görelilik Kuramı

DAVID BOHM

Çeviren
Aziz Yardımlı



idea

DAVID BOHM
ÖZEL GÖRELİLİK KURAMI

Özel Görelilik Kuramı

DAVID BOHM

Çeviren
AZİZ YARDIMLI

İdea • İstanbul

İdea Yayınevi
Şarap İskelesi Sk. 2/106-107 34425 Karaköy — İstanbul
iletisim@ideayayinevi.com / www.ideayayinevi.com / www.ideasatis.com
Bu çeviri için © AZİZ YARDIMLI 2013
Özel Görelilik Kuramı
The Special Theory of Relativity
David Bohm
Copyright (C) 1965, 1996 Sarah Bohm
Birinci basım 2013
Tüm hakları saklıdır. Bu yayının hiçbir bölümü
İdea Yayınevinin ön izni olmaksızın
yeniden üretilemez.
Baskı: Umut Matbaacılık
Fatih Cad. Yüksek Sok. No 11, Merter — İstanbul
Printed in Türkiye

ISBN 978-975-397-083 - 9

Önsöz

Bu kitabın genel amacı görelilik kuramını birleşik bir bütün olarak sunmak, kabul edilmesine götüren nedenleri açığa çıkarmak, temel anlamını olanaklı olduğu ölçüde matematiksel-olmayan terimlerde açıklamak, ve tam imlemlerini anlamamızı güçleştiren örtük "sağ-duyu" sayıltılarından kimilerinin sınırlı doğruluklarını ortaya sermektir. Böylelikle bu kuramın kavramlarının daha eski Newton kuramının kavramlarının sunduğundan çok ayrı bir birleşik bütün oluşturacak bir yolda karşılıklı olarak ilişkili olduklarını göstererek, ve böyle değişik bir kuramı kabul etmeye götüren güdüyü açığa çıkararak, tipik inceleme programının kapsadığı birçok özelleşmiş derste kazanılan ve öğrenciye bir bütün olarak fiziğin mantıksal ve kavramsal yapısı konusunda biraz dağınık bir izlenim verme eğiliminde olan görüşü bir ölçüde tamamlamayı umuyoruz.

Kitap görelilik-öncesi fiziğin ve fizikçileri Newton'dan bu yana ve ondan önce etkili olmuş daha eski uzay ve zaman düşüncelerini sorgulamaya götüren başlıca deneysel olguların bir bölümünü kısaca gözden geçirerek başlar. Newton'ın kavramlarını, özellikle Lorentz tarafından ether kuramının terimlerinde geliştirilen kavramları sürdürme çabalarının bir bölümü üzerine önemli ölçüde vurgu getirilir. Bu yordam yalnızca öğrenciye fiziğin gelişiminin bu belirleyici evresinin tarihini anlamak için yardımcı olma üstünlüğünü değil, ama daha da ötesi, eski kavramların yol açtığı problemlerin doğasını çok açık olarak sergileme üstünlüğünü de taşır. Ancak bu sorunların arkatasarına karşıdır ki Einstein'ın başlıca katkısının yeni formüllerin önerilmesinde olmaktan çok temel uzay, zaman, özdek ve devim kavramlarımızda yer alan köklü değişimlerin getirilmesinde yattığı olgusu tam olarak anlaşılabilir.

Böyle yeni düşünceleri önceden savunulan düşünceler ile gerektiği gibi ilişkilendirmeksizin sunmak görelilik kuramının yalnızca daha erken gelişimlerin bir doruk noktasında olduğu gibi yanlış bir izlenim verir, ve bu kuramın radikal olarak yeni bir çizgi üzerinde olduğu ve bu

çizginin fiziksel yasayı yeni yönlerde ve şimdiye dek beklenmemiş olan yeni alanlara doğru genişleten aynı adımda Newton'ın kavramları ile çeliştiği olgusunu yeterince ortaya sermez. Bu nedenle, ether kuramının arkasındaki temel kavramları incelemenin geniş bir konular türlülüğünün istemleri tarafından zorlanan öğrencinin değerli zamanını dolduracak olması olgusuna karşın, yazar bu kavramların kısa bir özetini bu derslerin kapsamına almayı çekilecek sıkıntıya değer görmektedir.

Einstein'ın temel olarak yeni adımı fiziğe *ilişkisel* bir yaklaşımı kabul etmesinde yatıyordu. Fiziğin görevinin evrenin ona temel olan saltık bir *tözünün* (örneğin ether gibi) incelemesi olduğunu kabul etmek yerine, görevin yalnızca bu evrenin çeşitli yanları arasındaki *ilişkilerin*, ilkede gözlemlenebilir olan ilişkilerin incelemesinde yattığı görüşünü önerdi. Bu bağıntıda daha önceki Newton kavramlarının bu iki yaklaşımın bir karışımını imlediğini anlamak önemlidir, çünkü uzay ve zamanın saltık olarak görülmesine karşın, bu kavramların gene de birçok "relativistik" özellik taşıdığı bulunmuştu. Bu derslerde, ilişkisel ve saltık bakış açılarının bu karışımını açığa çıkarabilmek için, eski uzay ve zaman kavramlarının ve onlarla birlikte onlara temel olan "sağ-duyu" kavramlarının çözümlemesi konusunda dikkate değer bir çaba gösterilmektedir.

Sağ-duyunun ve Newton'ın uzay ve zaman kavramlarının arkasındaki genellikle "gizli" sayıltıların, eğer görelilik kuramını anlayacaksak düşülmeleri gereken bu sayıltıların bir bölümünü ortaya koyduktan sonra, Einstein'ın eşzamanlılık kavramını çözümlemesine geçeceğiz ki, bunda *zaman* bir olayın somut bir fiziksel süreç ile ilişkisini anlatan ve kendisi bu süreçte ölçülen bir tür "koordinat" olarak alınır. Edimsel olarak ölçülen ışık hızının tüm gözlemciler için değişmezliği biçimindeki gözlem olgusu temelinde, değişik hızlarda devinen gözlemcilerin uzak olaylara yüklenecek zaman koordinatı konusunda anlaşamadığı görülür. Bu vargıdan nesnelerin uzunlukları ya da saatlerin hızları üzerine de anlaşamadıkları sonucu çıkar. Böylece, görelilik kuramının özsel imlemleri herhangi bir formüle gereksinim olmaksızın nitel olarak görülür. Buna göre Lorentz dönüşümlerinin başlangıçta matematik olmaksızın elde edilen aynı vargıları sağın nicel biçimde anlatabilen biricik dönüşümler olduğu gösterilir. Bu yolda, öğrencinin ilk olarak Einstein'ın uzay ve zaman kavramlarının imlemini ve ayrıca onu bu kavramları kabul etmeye götüren problem ve olguları genel terimlerde göreceğini, ve bunun arkasından matematiğin sağladığı daha ince işlenmiş görüşe geçebileceğini umuyoruz.

Daha sonra Lorentz dönüşümünün birincil imlemlerinden kimileri açıklanır, ve bu yalnızca bu dönüşümün anlamını araştırma değil, ama ayrıca doğal bir yolda *görelilik ilkesinin* bir bildirimine götürme amacıyla yapılır: Temel fiziksel yasalar tüm gözlemciler için aynı olan değişimsiz *ilişkilerdir*. Görelilik ilkesi bir dizi örnekte açıklanır. Daha sonra bu ilkenin Einstein'ın bir cismin kütle ve devinirliğini hızının terimlerinde anlatan relativistik formüllerine götürdüğü gösterilir. Bu formüllerin

bir çözümlemesi aracılığıyla, Einstein'ın bir cismin enerjisi ve kütlesi arasındaki ünlü $E = mc^2$ ilişkisine gelinir. Bu ilişkinin anlamını geliştirmede büyük ölçüde ayrıntıya girilir, ve bu amaçla "dinginlik enerjisi" sorununa, ve bu enerjinin cismin iç yapısında daha alt düzlemlerde yer alan ileri-geri devimlerin terimlerinde açıklamasına özel olarak dikkat edilir. Bu bağıntıda, yazar kişisel deneyimi yoluyla kütle ve enerji arasındaki ilişkinin öğrencilerin kafalarında sayısız soruya yol açtığını, ve bunların nedeninin büyük ölçüde bu ilişkinin dünyanın genel yapısını ve bunun Newton mekaniğindeki gelişimini ilgilendiren ve "sağ-duyu" üzerine dayanan belli "gizli" sayıltılar ile çelişmesi olduğunu bulmuştur. Bu nedenle kütle üzerine sağ-duyuya dayalı örtük sayıltılarımızı irdeleyerek bunların kaçınılmaz olmadığını göstermek ve bu yolda Einstein'ın kütle kavramının onlardan nasıl ayrıldığını göstermek yararlı olacak, ve böylece kütle ve enerji eşdeğerliğinde hiçbir paradoksun bulunmadığı görülebilecektir.

Kitap boyunca, bütünüyle genel bir yolda eski düşünce kiplerini kaçınılmaz görme yönündeki alışıldık eğilime, bilim üzerine yeni düşüncelerin gelişimini büyük ölçüde engelleyen bu eğilime büyük bir dikkat yöneltilir. Bu eğilim bilimsel yasaların saltık doğruluklar oluşturduğu biçimindeki gizli sayıltı üzerine dayanıyor görünür. Saltık doğruluk kavramı bu kitapta biraz ayrıntıda çözümlenir, ve bilimin edimsel gelişimi ile kötü bir uyum içinde olduğu gösterilir. Bunun yerine, bilimsel doğrulukların belli bir sınırlı alanda geçerli olan ilişkiler olarak görülmesinin daha iyi olduğu, ve bu alanın düzeyinin ancak gelecek deneysel ve kuramsal buluşların yardımıyla saptanabileceği gösterilir. Verili bir bilim belli bir temel kavramlar kümesinin gelişimine ve eklemlenmesine götüren uzun dönemlerden geçebilirken, zaman zaman eski kavramların yol açtığı ikircimler ve karışıklıklar nedeniyle bir bunalım evresine girme eğilimi de gösterir. Böyle bunalımların çözümü eski düşünceler ile çelişen temel kavramlarda köktenci bir değişimi gerektirir, ve bu arada belli bir anlamda onların doğru özelliklerini özel durumlar, sınırlar ya da yaklaşıklıklar olarak kapsamayı sürdürür. Böylece, bilimsel araştırma eldeki kuramlarda doruklanan değişmez bir saltık doğruluklar birikimi süreci değil ama tersine çok daha dinamik bir süreçtir ki, orada sınırsız alanlarda geçerli olan son kuramsal kavramlar bulunmaz. Bu olgunun anlaşılmasının yalnızca fizikte değil ama benzer sorunları içeren başka bilimlerde de yararlı olması gerekir.

Görelilik üzerine dersler Minkowski çizgesinin bir tartışması ile sonlanır. Bu görelilik ilkesinin anlamını çizgeler ile açıklama amacıyla büyük ölçüde ayrıntıya girerek yapılır. Bu örneklemenin gidişinde sunduğumuz *K* kalkülüsü kendi payına Einstein'ın uzay ve zaman düşüncelerinin anlamının daha iyi anlaşılmasına götürür ve ayrıca bu düşüncelerin ve Newton'ın düşüncelerinin imlemleri arasında bir karşılaştırma yapma olanağı da sağlar. Bu tartışmada, Newton kuramında temel olan *nesne* ve *deviminin* rolü yerine, relativistik fizikte temel olan *olay* ve *sürecin* rolü

vurgulanır. Bu bizi geçmiş ve gelecek ışık konilerinin içindeki olayların dışarıdaki olaylardan değişimsiz ayrımı ile, Minkowski uzay-zamanının (hiperbolik) geometrisine götürür. Bu ayrım temelinde, değişik gözlemcilerin eşzamanlılık üzerine anlaşma konusunda karşılaştıkları relativistik başarısızlığın, hiçbir sinyalin ışıktan daha hızlı iletilemeyeceği koşulu verildiğinde, neden ve etki düzeninde hiçbir karışıklık yaratmadığı açığa çıkarılır.

Biri Yeryüzünde kalırken öteki bir uzay gemisinde ışık hızına yakın bir hız ile yolculuğa çıkan ve değişik olarak yaşlanan ikizler üzerine ayrıntılı bir tartışmayı da bu derslerin kapsamına alıyoruz. Bu tartışma "asıl-zaman"ın [*"proper-time"*] anlamını örneklendirmeye hizmet eder ve biraz ayrıntıya girerek nasıl Einstein'ın uzay ve zaman kavramlarının ayrılan iki gözlemcinin yeniden buluştukları zaman değişik "asıl-zaman" aralıkları deneyimlemiş olmalarına izin verdiğini gösterir.

Son olarak, dünya ve onun örneğin sırasıyla Newton fiziği ve Einstein fiziği tarafından sağlanan haritaları gibi çeşitli almaşık kavramsal haritaları arasındaki ilişki üzerine bir kapanış tartışması vardır. Bu tartışma bir kavramsal harita olgusallığın kendisi ile özdeşleştirildiğinde ortaya çıkan karışıklığı gidermeyi amaçlar—bir tür karışıklık ki, görelilik kuramı ile ilk kez karşılaşan bir öğrencinin sık sık yaşadığı güçlüğün başlıca sorumlusudur. Ek olarak, haritalama terimlerindeki bu ilişki kavramı modern matematikte temel olan kavramlardan biridir, öyle ki Minkowski çizgesinin bir harita olarak anlaşılmasının öğrenciyi fizik ve matematiğin büyük bir bölümü arasındaki bağıntının daha geniş bir açıdan görülmesi için hazırlamaya yardım etmesi gerekir.

Asıl dersler bir Ek bölümü tarafından izlenir ki, bunda Einstein'ın uzay, zaman ve özdek kavramları sıradan algının belli özellikleri ile ilişkilendirilir. Genellikle Newton kavramlarının gündelik algısal deneyim ile tam anlaşma içinde olduğuna inanılır. Bununla birlikte, edimsel algı sürecinde yakınlarda elde edilen deneysel ve kuramsal gelişmeler "sağduyu" düşüncelerimizin birçoğunun algı alanımıza uygulandığında, tıpkı relativistik fizik alanında olduğu gibi, yetersiz ve karışık sonuçlar verdiğini gösterir. Gerçekten de, bir yanda değişimsiz ilişkiler tarafından oluşturulan yasaları ile bir olaylar ve süreçler yapısı olarak relativistik evren kavramı ve öte yanda dünyayı onunla dolaysız bağıntılarımızda içerilen olay ve süreçlerdeki değişimsiz ilişkilerin soyutlaması yoluyla edimsel olarak algılayış yolumuz arasında dikkate değer bir andırım bulunuyor görünür. Bu andırım Ek bölümünde oldukça ayrıntılı olarak geliştirilir ve orada sonunda bilimin dünyaya ilişkin bilgi birikiminin bir yolu olmaktan çok, *başlıca* dünya ile algısal bağıntımızı genişletmenin bir yolu olduğunu ileri sürmeye götürülürüz. Bu yolda, bilimsel araştırmanın saltık gerçekliğe götürmediği, ama tersine (sıradan algıda olduğu gibi) dünyanın kendisi ile ilişkide olduğumuz sürekli olarak büyümekte olan bir diliminin ayrımsanmasına ve anlaşılmasına götürdüğü olgusunu anlayabiliriz.

Algı üzerine Ek bölümün dersin bir parçası olmamasına karşın, Einstein tarafından fizik için önerilen ilişkilere belli yollarda benzer olan ilişkileri sezgisel olarak anlama olanağını veren gündelik deneyimin belli yanlarına öğrencinin dikkatini çekmede yararlı olması gerekir. Bundan başka, eğer bilime bir bilgi birikimi olmaktan çok temel olarak algısal bir girişim olarak bakılırsa, bilime daha duru bir genel yaklaşım elde edileceği umudedilebilir.

DAVID BOHM

Londra, İngiltere
Ocak, 1964

İçindekiler

Önsöz 5

I. *Giriş 15*
II. *Einstein-Öncesi Görelilik Kavramları 17*
III. *Elektrodinamik Yasalarının Göreliliği Sorunu 22*
IV. *Michelson-Morley Deneyi 25*
V. *Ether Önsavını Kurtarma Çabaları 28*
VI. *Lorentz Elektron Kuramı 33*
VII. *Lorentz Kuramının Daha Öte Gelişimi 36*
VIII. *Lorentz Kuramında Eşzamanlılığı Ölçme Problemi 40*
IX *Lorentz Dönüşümü 44*
X. *Lorentz Kuramına Göre Uzay-Zaman Ölçümlerinin Anlamlarına Özünlü İkircim 47*
XI. *Gönderme Çatılarının Terimlerinde Uzay ve Zaman Kavramlarının Çözümlemesi 49*
XII. *"Sağ-Duyu" Uzay ve Zaman Kavramları 54*
XIII. *Einstein'ın Uzay ve Zaman Kavramlarına Giriş 57*
XIV. *Einstein'ın Bakış Açısından Lorentz Dönüşümü 64*
XV. *Hızların Toplamı 68*
XVI. *Görelilik İlkesi 71*
XVII. *Göreliliğin Kimi Uygulamaları 75*
XVIII. *Görelilikte Devinirlik ve Kütle 80*
XIX. *Kütle ve Enerji Eşdeğerliği 88*
XX. *Enerji ve Devinirlik İçin Relativistik Dönüşüm Yasası 92*
XXI. *Bir Elektromanyetik Alandaki Yüklü Parçacıklar 95*
XXII. *Özel Görelilik İçin Deneysel Kanıt 100*
XXIII. *Bir Kez Daha Kütle ve Enerji Eşdeğerliği Üzerine 103*
XXIV. *Yeni Bir Öğesel Parçacıklar Kuramına Doğru 110*
XXV. *Kuramların Yanlışlanması 113*
XXVI. *Minkowski Çizgesi ve K Kalkülüs 120*
XXVII. *Olayların Geometrisi ve Uzay-Zaman Süreklisi 131*

XXVIII. *Nedensellik Sorusu ve Görelilik Kuramında Sinyallerinin Yayılımının Maksimum Hızı 138*
XXIX. *Asıl Zaman 143*
XXX. *İkizler Paradoksu 146*
XXXI. *Geçmişin Bir Yeniden-Kurulumu Olarak Minkowski Çizgesinin İmlemi 153*

Ek: Fizik ve Algı 163

Kısa Bir Sözlük 201
Dizin 203

Özel Görelilik Kuramı

I

Giriş

Görelilik kuramı yalnızca kendi başına büyük önemi olan bir bilimsel gelişim değildir. Giderek temel kavramlarımızda fizikte başlayan ve başka bilim alanlarına, aslında bilimin dışında çok büyük bir düşünme alanına yayılmakta olan köktenci bir değişimin ilk evresi olarak daha da imlemlidir. Çünkü, iyi bilindiği gibi, modern eğilim güvenilir "saltık" doğruluk kavramından (e.d. tüm koşullardan, bağlamlardan, derecelerden, ve yaklaşıklık tiplerinden bağımsız olarak geçerli bir doğruluk kavramından) uzaklaşmakta, ve verili bir kavramın ancak o kavrama tam anlamını verebilecek daha geniş ve uygun gönderme biçimleri ile ilişki içinde anlamlı olduğu düşüncesine yönelmektedir.

Bununla birlikte, tam anlamıyla imlemlerinin genişliğinin kendisinden ötürü, görelilik kuramı bir tür karışıklığa götürme eğilimine girmiş, sonuçta doğruluk elverişli ve yararlı olandan daha çoğu olmayana özdeş görülür olmuştur. Böylece "herşey göreli olduğu" için, kimileri ne olursa olsun herhangi bir problem üzerine ne söyleneceğine ya da ne düşünüleceğine karar vermenin bütünüyle kişinin seçimine bağlı olduğu izlenimini edinebilir. Geriye fiziğe yanısıtıldığında, böyle bir eğilim sık sık yeni gelişmelere karşı ortaya kuşkucu ve giderek kinik bir tutuma yakın birşey çıkarmıştır. Çünkü öğrenci ilkin Newton'ın, Galileo'nun vb. eski yasalarını "ilksiz-sonsuz doğruluklar" olarak görmek üzere eğitilir, ve sonra ona birdenbire görelilik kuramında (ve daha da çok olmak üzere quantum kuramında) bunların gününün çoktan geçmiş olduğu söylenir ve bundan böyle eskiyenlerin yerini almak üzere yeni bir "ilksiz-sonsuz doğruluklar" kümesini kazanmakta olduğu imlenir. O zaman öğrencilerin biricik amaçları bir dizi deneyin sonuçlarını tahmin edecek elverişli bir formüller kümesi elde etmek olan fizikçiler tarafından biraz keyfi bir oyunun oynandığını duyumsayabilmeleri hiç de hayret edilecek birşey değildir. Bu yeni gelişmelerde matematiğin karşılaştırmalı olarak daha büyük önemi bu izlenimi güçlendirmeye katkıda bulunur, çünkü fizik yasalarının anlamı üzerine eski kavramsal yaklaşımlar şimdi büyük ölçüde terkedilirken yerlerini almak üzere çok az şey önerilir.

Bu notlarda görelilik kuramının daha kolay anlaşılan bir yorumunu sunabilmek için çaba gösterilecektir. Bu amaçla, görelilik kuramının doğuşuna götüren sorunların arkatasarında biraz ayrıntıya gireceğiz, ve bunu sorunların tarihsel düzenlerini izleyerek olmaktan çok bilimcileri kavramlarını öylesine köktenci bir yolda değiştirmeye götüren etmenleri ortaya çıkarmak üzere tasarlanmış bir düzene göre yapacağız. Olanaklı olduğu ölçüde, görelilik kavramlarının daha önceki Newtoncu kavramların öğesel sunuluşunda kullanılanlara benzer matematiksel-olmayan terimlerde anlaşılmasını vurgulayacağız. (Daha ayrıntılı bir matematiksel irdeleme için, öğrencinin konu üzerine şimdi bulunabilen başka metinlere başvurması önerilir.)

Bilimde kavramların değişimi genel problemini durulaştırmak için, bir bakıma görelilik kuramının yapısının kendisine örülmüş olan temel felsefi sorunların birçoğunu oldukça kapsamlı olarak tartışacağız. Bu sorunlar bir yandan ether üzerine eski Lorentz kuramının eleştirisinde, ve öte yandan Einstein'ın kütle ve enerji eşdeğerliğini keşfinde doğar. Ek olarak, Newton mekaniğinin tartışmasız egemenliği altında geçen birkaç yüzyıldan sonra onun yerini almakla görelilik kuramı bilimsel kuramların zaman zaman temel devrimlere açık olmaları durumunda taşıyabilecekleri doğruluk türü açısından daha önce değindiğimiz önemli sorunları ortaya çıkardı. Bu soruyu kitabın birçok bölümünde kapsamlı olarak tartışacağız.

Ek bölümünde bilimsel düşünmemizin gelişiminde algının rolünün bir açıklamasını veriyoruz ve bunun ilişkisel (ya da göreli) bir bakış açısının genel imlemini daha öte durulaştıracağını umuyoruz. Bu açıklamada, gündelik algıdan türetilen soyutlamalar olarak uzay ve zaman kavramlarımızın gelişim kipi tartışılacaktır; ve bu tartışmada uzay ve zaman kavramlarımızın gerçekte belli bir yolda sıradan deneyimden oluştuğu açığa çıkacaktır. Dolayısıyla, bundan böyle düşüncelerin ancak içlerinde doğdukları alanlardan çok fazla uzak olmayan sınırlı alanlarda geçerli olabilecekleri sonucu çıkar. Yeni deneyim alanlarına geldiğimiz zaman, yeni kavramlara gereksinim duyulması şaşırtıcı değildir. Ama gerçekten ilginç olan şey, sıradan algı sürecinin olguları bilimsel olarak incelendiğinde, gündelik deneyime geleneksel bakış yolumuzun (ki belli inceltmelerle Newton mekaniğinin içerisine alınır) oldukça yüzeysel ve pekçok bakımdan çok yanıltıcı olduğunun bulunmasıdır. Buna göre, algı sürecinin daha dikkatli bir açıklaması algının edimsel olgularını anlamak için gereken kavramların Newton mekaniğinin kavramlarına olmaktan çok görelilik kavramlarına yakın olduğunu gösterir. Bu yolda göreliliğe salt matematiksel sunuşta eksik olma eğilimini gösteren bir tür dolaysız sezgisel imlem vermek olanaklı olabilir. Fizikte etkili düşünme genellikle sezgisel yanın matematiksel yan ile bütünleştirilmesini gerektirdiği için, bu satırlar boyunca göreliliği (ve belki de quantum kuramını) anlamanın daha derin ve daha etkili bir yolunun doğabileceğini umudediyoruz.

II

Einstein-Öncesi Görelilik Kavramları

Fizik yasalarının ilişkisel (göreli) bir anlayışına doğru genel eğilimin modern bilimin gelişiminin çok erken bir evresinde başladığı genellikle anlaşılmaz. Bu eğilim Orta Çağlarda Avrupa düşüncesine egemen olan ve giderek modern zamanlarda bile güçlü ama doğrudan olmayan bir etki uygulamayı sürdüren daha da eski bir Aristotelesci geleneğe karşıtlık içinde doğdu. Belki de bu geleneği Aristoteles'e olmaktan çok onun kendisinin Antik Yunan düşünürlerini uğraştıran çeşitli fiziksel, evrenbilimsel ve felsefi sorunlara belki de biraz geçici bir yolda bir çözüm olarak önerdiği belli kavramları katılaştırıp durağanlaştıran Ortaçağ Skolastiklerine yüklemek gerekir.

Aristoteles'in öğretileri çok geniş bir alanı kaplıyordu, ama, şimdiki tartışmamız söz konusu olduğu ölçüde bizi ilgilendiren şey evrenin özeği olarak Yeryüzü üzerine evrenbilimsel kavramıdır. Aristoteles bütün evrenin Yeryüzü ortada olmak üzere yedi küreden yapıldığını ileri sürdü. Bu kuramda, bir nesnenin evrendeki *yeri* anahtar rol oynar. Böylece, her bir nesnenin ona doğru çabalamakta olduğu ve engeller tarafından durdurulmadıkça ona yaklaştığı doğal bir yerinin olduğu kabul edildi. Devim böyle "sonsal nedenler" tarafından belirleniyor ve "etker nedenler" tarafından etkinleştiriliyor olarak görüldü. Örneğin, bir nesnenin Yeryüzünün özeğindeki "doğal yerine" ulaşmaya çalışma eğiliminden ötürü düşmesi gerektiği, ama nesnenin bırakılması için belli bir dışsal "etker" nedenin gerekli olduğu ve ancak bu yolla nesnenin içsel çaba "ilkesi"nin işleme geçebildiği varsayıldı.

Birçok yolda Aristoteles'in düşünceleri Antik Yunanlılar tarafından bilinen fenomenler alanına usayatkın bir açıklama verdi; ama bu düşünceler, bildiğimiz gibi, hiç kuşkusuz daha modern bilimsel araştırmalarda ortaya serilen daha geniş alanlarda yeterli olmadılar. Özellikle yetersiz olduğunu göstermiş olan şey saltık bir hiyerarşik varlık düzeni

düşüncesidir ki, buna göre her bir şey bu düzende kendi uygun yerine eğilimlidir. Böylece, gördüğümüz gibi, uzayın bütünü "yedi kristal küre" biçiminde bir tür durağan hiyerarşik yapıda örgütlenmiş olarak görülürken, zamana ise daha sonra Ortaçağ Skolastikleri tarafından andırımlı bir örgütlenme verilecek ve buna göre belli bir kıpı daha sonra evrenin erek olarak belli bir hedefe doğru ilerleme sürecinde görülen yaratılış kıpısı olarak alınacaktı. Böyle kavramların gelişimi fizik yasalarının anlatımında belli yerlerin ve belli zamanların özel ya da ayrıcalıklı bir rol oynadığı düşüncesine götürdü, öyle bir yolda ki doğa yasalarının doğru olarak anlaşılabilmesi için başka yer ve zamanların özelliklerinin benzersiz bir yolda bu özel yer ve zamanlar ile ilişkilendirilmesi gerekiyordu. Benzer düşünceler tümü de uygun hiyerarşilere örgütlenmiş değişmez kategorilerin, özelliklerin vb. getirilmesi ile insan çabasının tüm alanlarına aktarıldı. Bütünsel evrenbilimsel dizgede insanın anahtar bir rolünün olduğu kabul edildi. Çünkü, bir anlamda, insan bütün varoluş tiyatrosunda herşeyin uğruna yaratıldığı ve ahlaksal seçimleri ile evrenin yazgısını belirleyen özeksel karakter olarak görülüyordu.

Aristoteles'in öğretisinin bir bölümü Gökyüzündeki cisimlerin (örneğin gezegenler) Yeryüzündeki özdekten daha eksiksiz oldukları için doğalarının eksiksizliğini anlatan bir yörüngede dönmeleri gerektiğini kabul ediyordu. Daire en eksiksiz geometrik şekil olarak görüldüğü için, bir gezegenin Yeryüzü çevresinde bir dairede dönmesi gerektiği vargısı çıkarıldı. Gözlemler eksiksiz daireselliği ortaya sermeyi başaramayınca, bu uygunsuzluk "üst-dairelerin" ya da "daire içi dairelerin" getirilmesi ile giderildi. Bu yolda çok karışık bir biçimde birçok üst-dairenin getirilmesi ile ne olursa olsun her tür yörüngeye "ayarlanabilen" Ptolemi kuramı geliştirildi. Böylece, Aristotelesci ilkeler korundu, ve edimsel yörüngelerin görüngüleri açıklandı.

Bu şemada ilk büyük kırılma eğer gezegenlerin Yeryüzü çevresinde değil ama Güneş çevresinde döndüğü kabul edilirse karışık ve keyfi üst-daireler dizgesinden kaçınılabileceğini gösteren Kopernik tarafından yapıldı. Bu gerçekten de bütün insan düşüncesinde büyük bir değişimin başlangıcı oldu. Çünkü Yeryüzünün şeylerin özeğinde olmasının gerekmediğini gösterdi. Gerçi Kopernik Güneşi özeğe koymuş olsa da, daha sonra aslında Güneşin bile yalnızca birçokları arasında herhangi bir yıldız olabileceği ve böylece evrende gözlenebilir hiçbir özeğin olamayacağı görüşüne ulaşmak çok büyük bir adım değildi. Zamana ilişkin benzer bir düşünce bütünüyle doğal olarak gelişti ve buna göre hiçbir tikel yaratılış kıpısı, kendisine doğru devindiği hiçbir tikel "erek" olmaksızın evren sınırsız ve ilksiz-sonsuz olarak görüldü.

Kopernik kuramı insan düşüncesinde yeni bir devrim başlattı. Çünkü sonunda insanın bundan böyle kozmozda özeksel bir karakter olarak görülmeyeceği anlayışına götürdü. İnsanın rolünün bu biraz şaşkınlık yaratıcı indirgenmesinin insan yaşamının her evresinde olağanüstü büyük sonuçları oldu. Ama burada daha çok Kopernik kavramlarının

bilimsel ve felsefi imlemleri ile ilgileniyoruz. Bu imlemler Kopernik kavramlarının en sonunda eski saltık uzay ve zaman kavramlarının çöküşüne ve uzay ve zamanın öneminin ilişkide yattığı anlayışının gelişimine götüren bir kavramlar evrimini başlattığı söylenerek toparlanabilir.

Bu değişimi biraz uzunlamasına açıklayacağız, çünkü bizi görelilik kuramı ile denmek istenen şeyin özüne götürür. Kısaca, özsel olan nokta uzayda ayrıcalıklı yerler ya da zamanda ayrıcalıklı kıpılar olmadığı için, fizik yasalarının özek olarak alınan herhangi bir nokta ile eşit ölçüde uygun olarak ilişkilendirebileceği, ve aynı ilişkileri ortaya çıkaracağıdır. Bu bakımdan, durum örneğin Yeryüzünün özeğine tüm özdeğin ona doğru çabaladığı yer olarak özel bir rol veren Aristotelesci kuramın durumundan çok ayrıdır.

Göreliliğe doğru yukarıda betimlenen bu eğilim Galileo ve Newton yasalarında daha ileri götürüldü. Galileo düşen nesnelerin yasalarının dikkatli bir incelemesini yaparak bunlarda hızın zaman ile değişirken ivmenin ise değişmez olduğunu gösterdi. Galileo'dan önce, duru bir ivme kavramı gelişmiş değildi. Bu belki de düşen nesnelerin devimlerinin incelemesine başlıca engellerden biriydi, çünkü böyle bir kavram olmaksızın devimlerinin özsel özelliklerini formüle etmek olanaklı değildi. Galileo'nun anladığı şey, temel olarak, tıpkı biçimdeş bir hızın değişmez bir konum değişimi oranı olması gibi, biçimdeş bir ivmenin de değişmez bir hız değişim-oranı olarak düşünülebileceği idi,—e.d.,

$$\frac{v(t+\Delta t)-v(t)}{\Delta t} = a = \text{değişmez}, \qquad (2\text{–}1)$$

ki burada t zaman, ve Δt küçük bir zaman artışıdır. [$v(t)$ hiç kuşkusuz t zamanındaki hız, ve $v(t+\Delta t)$ ise $t+\Delta t$ zamanının hızıdır. (D.B.)] Bu demektir ki düşen bir cisim değişen hızlarındaki belli bir *ilişki* tarafından karakterize edilir, ve bu ilişki özel bir saptanmış dışsal noktaya değil ama nesnenin kendisinin deviminin özelliklerine gönderme yapar.

Newton kendi devim yasasını formüle ederken bu çizgiler boyunca daha da ileri gitti:

$$m\mathbf{a} = m\dot{\mathbf{v}} = \mathbf{F} \qquad (2\text{–}2)$$

ki burada $\mathbf{a} = \dot{\mathbf{v}}$ cismin ivmesi ve $\mathbf{F}$ ise üzerindeki kuvvettir. Bu yasalarda Newton yerçekimi kuvvetinin Yeryüzünün yüzeyinin yakınında değişmez olması olgusu yoluyla Galileo'nun sonuçlarını toparladı. Aynı zamanda yasayı değişmez ya da değişken her kuvvet için geçerli olan bir ilişkiye genelleştirdi. Newton'ın devim denklemlerinde örtük olarak imlenen bir başka şey de *süredurum yasasıdır:* Hiçbir kuvvetin altında olmayan bir nesne değişmez hız (ya da sıfır ivme) ile devinecek ve dışsal bir kuvvet hızında bir değişime yol açıncaya dek böyle devinmeyi sürdürecektir.

Newton'ın yasalarının getirdiği önemli bir soru bu yasaların içinde geçerli olduğu "süredurumlu koordinatlar çatısı" sorusudur. Gerçekten de, açıktır ki eğer bu yasalar verili bir S dizgesinde geçerli ise, ivmelenen

bir S' dizgesinde hiçbir değişki olmaksızın geçerli olmayacaklardır. Örneğin, eğer çevrinen bir koordinat çatısını kabul edersek, o zaman özekkaç kuvveti ve Coriolis kuvvetini eklemek zorunda kalırız. Bir ilk yaklaşıklık olarak, Yeryüzünün yüzeyi bir süredurumlu gönderme çatısı olarak alınır; ama çevrindiği için böyle bir sayıltı tam olarak geçerli değildir. Newton uzak "durağan yıldızların" sağın bir koordinatlar çatısı için temel olarak görülebileceği önerisinde bulundu, ve bu gerçekten de uygun çıktı, çünkü bu sayıltı altında gezegenlerin yörüngeleri en sonunda Newton'ın yasalarından doğru olarak hesaplandı.

Bir süredurumlu dizge olarak "durağan yıldızlar" sayıltısı kılgısal bakış açısından yeterince iyi işlemiş olsa da, mekaniğin gelişimindeki örtük eğilime, e.d. fizik yasalarını yalnızca devimin kendisindeki iç ilişkiler olarak anlatma eğilimine aykırı olan belli bir kuramsal keyfilik ile yüklüydü. Çünkü "ayrıcalıklı rol" gerçekte Yeryüzünün özeğinden durağan yıldızlara aktarılmıştı.

Gene de, fizik yasalarının "görelileştirilmesi" onların ayrıcalıklı özel nesnelere, yerlere, zamanlara vb. gönderme içinde alınmalarına son vererek önemli bir kazanç sağlamıştı. Bundan böyle yalnızca uzayda ve zamanda özel bir özeğin bulunmayışı söz konusu değildi; ayrıca *koordinat çatısının ayrıcalıklı bir hızı da yoktu.* Örneğin, varsayalım ki durağan yıldızlara göndermeli olan verili bir $\mathbf{x}$ koordinatlar dizgemiz olsun. Şimdi bir uzay gemisinin kökensel çatıya göreli olarak değişmez bir $\mathbf{u}$ hızı ile devindiğini imgeleyelim. Uzay gemisine göreli olarak ölçülen $\mathbf{x}'$, t' koordinatları o zaman *Galileo dönüşümü*[1] tarafından verili olarak varsayılır:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}' &= \mathbf{x} - \mathbf{u}t \\ \mathbf{v}' &= \mathbf{v} - \mathbf{u} \\ t' &= t \end{aligned} \tag{2–3}$$

Başka bir deyişle, hızlar doğrusal olarak toplanmak üzere alınır (ki "sağduyu" ile anlaşma içindedir). Özellikle saatlerin göreli devim tarafından etkilenmediğini ileri süren üçüncü denkleme, $t' = t$, dikkat edin.

Şimdi yeni gönderme çatısındaki devim denklemlerine bakalım. (2–2) denklemi şöyle olur:

$$m\mathbf{a}' = m\frac{d^2\mathbf{x}'}{dt'^2} = m\frac{d^2\mathbf{x}}{dt^2} = m\frac{d\mathbf{v}}{dt} = m\mathbf{a} = \mathbf{F} \tag{2–4}$$

Bu demektir ki yeni gönderme çatısında eskisinde olanla *aynı yasa* elde edilir. Bu sınırlı bir görelilik ilkesidir. Çünkü mekanik yasalar bir Galileo dönüşümü tarafından bağıntılanan tüm çatılarda aynı ilişkidir.

Buna karşın, daha sonraki gelişmeleri durulaştırmak için, Newton'ın ve onu izleyenlerin geliştirdikleri dinamiğin relativistik imlemlerini tam

[1]Galileo dönüşümü gerçekte ışık hızı ile karşılaştırma içinde küçük olan hızlar için geçerli salt bir yaklaşıklıktır. Daha sonra daha yüksek hızlarda onun yerine Lorentz dönüşümünün kullanılması gerektiğini göreceğiz.

olarak anlamadıkları belirtilmelidir. Gerçekten de, genel tutum bir *saltık uzayın*, e.d. kendinde varolan bir uzayın olduğunun kabul edilmesi idi (ki Newton'ın tutumu bunun tipik bir örneği idi) ve buna göre uzay ne olursa olsun başka herhangi birşey ile ilişkilerine bağımlı olmayan temel özellik ve nitelikleri ile bir töz gibi alınıyordu. Benzer olarak, Newton *zamanın* da geçişi sırasında yer alan edimsel olaylar ile ilişki olmaksızın saltık olarak, biçimdeş olarak ve düz olarak [*evenly*] "aktığını" kabul etti. Dahası, uzay ve zaman arasında hiçbir özsel ilişkinin olmadığını, e.d. uzayın özelliklerinin zamanın geçişi ile nesnelerin ve kendiliklerin devimlerinden bağımsız olarak tanımlandığını ve belirlendiğini, ve zamanın akışının böyle nesnelerin ve kendiliklerin özel özelliklerinden bağımsız olduğunu kabul etti. Süredurumlu gönderme çatısı hiç kuşkusuz saltık uzay ve zamanın gönderme çatısı ile özdeşleştiriliyordu.

Bir anlamda, denebilir ki Newton Aristotelesci saltık uzay kavramının o zamanlar saptanabilen fiziksel olgular ile bağdaşabilir yanlarını değişkiye uğramış bir biçimde sürdürdü. Bununla birlikte, daha sonra on dokuzuncu yüzyılda saptanabilen daha öte olguların Newtoncu saltık uzay ve zaman kavramlarını savunulamaz bir duruma düşürdüğünü ve dolayısıyla Einstein'ın relativistik bakış açısına götürdüğünü göreceğiz.

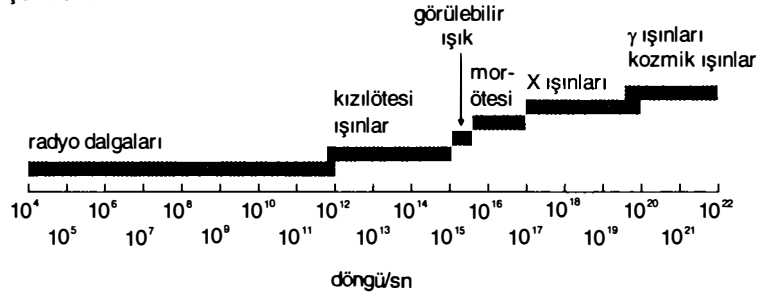
III

Görelilik Problemi ve Elektrodinamik Yasaları

Gördüğümüz gibi Newton mekaniğinde bile güçlü bir görelilik öğesi vardı. Bu nedenle relativistik kavramların fiziğe ilk kez Einstein tarafından getirildiği söylenemez. Onun yaptığı şey böyle kavramları elektrodinamik ve optik fenomenlere genişletmek, bu yolla tüm fiziksel yasaların doğal süreçlerde edimsel olarak yer alan değişimlerde bulunacak değişimsiz ilişkileri anlattığı düşüncesini belirtik olarak ve kapsamlı olarak ortaya koymak gibi daha da önemli bir adımın temelini atmaktı.

Görelilik ilkelerini elektrodinamik ve optik fenomenlere genişletmek niçin zorunluydu? Neden temel olarak ışığın sonlu bir yayılma hızının olmasıdır: $C \cong 3 \times 10^{10}$cm/sn. Şimdi, ışık başlangıçta bu hızla devinen parçacıklardan oluşmuş olarak görülürken, daha sonra ışığın girişim, kırınım vb. özellikleri ile bir dalga olduğu keşfedildi. Maxwell'in $\mathscr{E}$ ve $\mathscr{H}$ elektromanyetik alan vektörleri için denklemleri gerçekten de bu tür dalgaları öngörüyordu, öyle bir yolda ki bunların hızı elektrostatik ve elektromanyetik birimlerin oranı tarafından belirleniyordu. Hesaplanan hızın gözlemlenen ışık hızı ile anlaşması ışığın gerçekte bir elektromanyetik dalga biçimi olduğu yönünde güçlü bir belirti verdi. Işığın

Şekil 3–1



gözlenen polarizasyon özelliklerinin elektromanyetik kuram tarafından öngörülen özellikler ile anlaşması bu sayıltının daha öte doğrulanmasını sağladı. Işık, kızıl-ötesi ve mor-ötesi ışınlar, ve ayrıca başka birçok ışıma türü o zaman ısıtılmış ve başka türlü uyarılmış özdekte devinen elektronlar, atomlar vb. tarafından yayılan çok yüksek frekanslı elektromanyetik ışımalar olarak açıklandı. Daha sonra, aynı türden düşük-frekanslı elektromanyetik dalgalar (radyo dalgaları) laboratuarda üretildi. Aşamalı olarak, Şekil 3–1'de gösterildiği gibi, bütün bir elektromanyetik ışıma izgesi ortaya çıktı.

Şimdi, tıpkı ses dalgalarının özdeksel bir ortam olan havanın titreşimlerinden oluşması gibi, elektromanyetik dalgaların da seyrelmiş, herşeye-yayılan (uzay-dolduran) bir ortamda yayıldıkları konutlandı ve "ether" adı verilen bu ortamın içinden gezegenlerin dikkate değer bir sürtünme olmaksızın geçmesine izin verecek denli ince olduğu varsayıldı. Elektromanyetik alan ses dalgalarını ve mekanik gerinimleri ileten sıradan katı, sıvı ve gaz özdeklerde görülen gerginliklere biraz benzer bir yolda, etherdeki belli bir gerginlik türü olarak alındı (örneğin, ether Faraday'ın "elektrik ve manyetik kuvvet tüplerini" destekliyor olarak görüldü).

Eğer bu sayıltı doğruysa, o zaman Galileo'nun mekanik göreliliği elektrodinamik için, ve özellikle ışık için geçerli olamaz. Çünkü eğer ışığın ether ile göreli olarak bir C hızı varsa, o zaman Galileo'nun hızların toplamı için yasasına göre (2–3), ether içinden U hızı ile devinen bir gönderme çatısı ile göreli olarak hız $C' = C - U$ olacaktır. Maxwell'in denklemlerinin o zaman değişik ışık hızları verebilmek için ayrı Galileo biçimleri altında ayrı olmaları gerekecektir. Elektrodinamik yasaları için "ayrıcalıklı" bir gönderme çatısı, e.d. bir ether gönderme çatısı olacaktır.

Bu hiç kuşkusuz özünlü olarak usa aykırı bir düşünce değildir. Böylece, ses dalgaları gerçekte hava ile göreli olarak belli bir Vs hızında devinir. Ve bir U hızı ile devinen bir trene göreli olarak, hızları $Vs' = Vs - U$ olur. Ama burada hava varoluşu birçok bağımsız zemin üzerine bilinen iyice doğrulanmış özdeksel bir ortam iken, etherin ise yalnızca elektromanyetik dalgaların yayılımını açıklamak için getirilen tanıtlanmamış bir önsav olduğu anımsanmalıdır. Bu nedenle varsayılan etherin varoluşunun ve özelliklerinin bağımsız bir kanıtını elde etmek zorunluydu.

Bu noktayı sınamanın en açık yollarından biri ışık hızını devinen bir gönderme çatısında ölçmek ve onun devinen gönderme çatısı ile göreli C' hızının $C' - U$ hızına değişip değişmediğini görmek olacaktır (burada U çatının hızıdır). Örneğin Fizeau'nun Şekil 3–2'de bir çizgesi verilen deneyini irdeleyelim. Işık A noktasında devinen bir dişli çark içinden L uzaklığı boyunca geçirilir ve bir ayna tarafından geriye yansıtılır. Çarkın hızı öyle ayarlanır ki yansıyan ışık bir sonraki diş içerisinden geçerek gelir. Uygun bir saatin yardımıyla çarkın hızı ölçülür; ve bundan çarkın verili bir açısal konumunda bir dişin bir önceki dişin yerini alması için geçen T zamanı saptanır. Buna göre ışık hızı şu formül ile verilir:

$$C = \frac{2L}{T} \tag{3–1}$$

Şimdi, Yeryüzünün varsayılan ether içerisinde değişken ama bilinmeyen bir V hızı ile devinmesi gerektiğini biliriz. Bununla birlikte, açıktır ki bu hız örneğin yaz ve kış mevsimleri arasında yaklaşık 36 mil/sn kadar bir ayrım gösterecektir. Şimdi bu ayrımın değişik mevsimlerde gözlendiği biçimiyle ışık hızında görünüp görünmeyeceğini görelim.

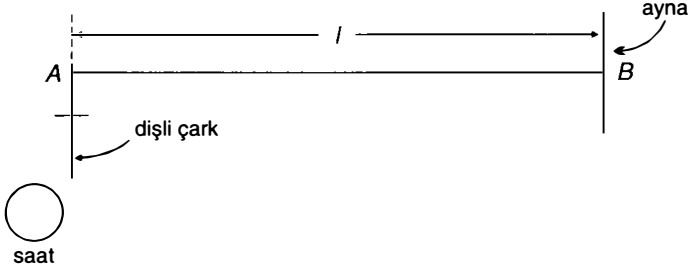
Eğer C ışığın ether ile göreli hızı ise, ışık laboratuar ile göreli olarak aynaya doğru giderken $C - U$, ve geri dönerken $C + V$ olacaktır. Geçiş zamanı T böylece

$$T = \frac{L}{C+V} + \frac{L}{C-V} = \frac{2LC}{C^2 - V^2} = \frac{2L}{C}\frac{1}{1-(V^2/C^2)} \cong \frac{2L}{C}\left(1 + \frac{V^2}{C^2} + \ldots\right) \tag{3–2}$$

olur ki, burada sonucu küçük V/C niceliğinin bir üsler dizisi olarak yalnızca ikinci üslere kadar açındırdık.

Böylece belirtmek gerek ki gözlemlenebilir etki yalnızca kendisi 10^{-8} düzeninde olan V^2/C^2 düzenindedir. Fizikçilerin bu problemi ciddi olarak incelemeye başlamaları ile aynı zamanda (on dokuzuncu yüzyılın sonlarına doğru) böyle bir etki eldeki aygıtlar ile saptanamayacak denli küçüktü (ama bugün bu etkinin daha sonra tartışacağımız sonuçlar ile Kerr hücreleri yoluyla saptanması olanaklıdır).

Şekil 3–2

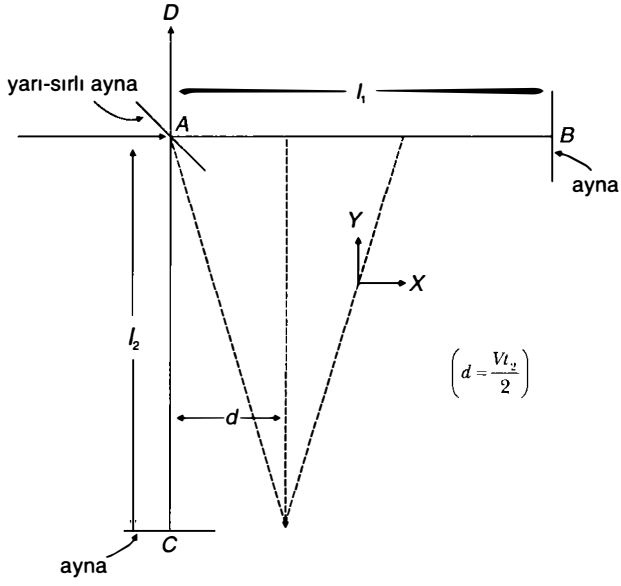


IV

Michelson-Morley Deneyi

Ether önsavını sınamadaki başlıca güçlük ışık hızının çok büyük sağınlık gösteren ölçümlerini elde etmekti. On dokuzuncu yüzyılın sonlarına doğru oldukça yüksek sağınlığa yetenekli girişimölçerler geliştirilmişti. Michelson ve Morley ışık hızının kendisini değil, ama iki dikey yöndeki ışık hızlarının oranını çok doğru olarak ölçen bir deney yapmak için bu olgudan yararlandılar. Bu oran, göreceğimiz gibi, ayrıca ilkede bir ether önsavını sınamanın aracı olarak da hizmet edecekti.

Şekil 4–1



Deneysel düzenleme Şekil 4–1'de şematik olarak gösterilmiştir. Işık A noktasında yarı-sırlı bir aynaya girer. Işının bir bölümü A'dan l_1 uzaklığında B'de bulunan ve ışığı geriye yansıtan bir aynaya gider. Bir başka bölüm l_2 uzaklığında bulunan C aynasına gider ve o da geri yansır. İki ışın A noktasında yeniden birleşerek belirtildiği gibi D noktasına gider ve bir girişim kalıbı yaratır. Saçakları sayarak iki ışının optik yolları arasındaki ayrımın çok doğru ölçümlerini elde etmek olanaklıdır.

Eğer Yeryüzü etherde dinginlikte olsaydı, ve eğer l_1 uzaklığı l_2 uzaklığına eşit olsaydı, D noktasında yapıcı girişim olurdu. Ama varsayalım ki $l_1 \neq l_2$ ve Yeryüzü X yönünde bir U hızında deviniyor olsun. Işığın B'den C'ye ve yeniden geriye gitme zamanı (Fizeau dişli-çark deneyinde olduğu gibi) denklem (3–2) tarafından verilir:

$$t_1 = \frac{2l_1}{C}\frac{1}{1-(V^2/C^2)} \cong \frac{2l_1}{C}\left(1+\frac{U^2}{C^2}+\ldots\right) \tag{4–1}$$

Şimdi, t_2 ışığın A'dan C'ye ve geriye gitme zamanı olsun. Açıktır ki ışık A'dan C'ye geçerken, C'deki ayna ether ile göreli olarak X yönünde bir $d = Ut_2/2$ uzaklığı boyunca devinir. Benzer olarak, ışık geri dönerken, A aynası X yönünde aynı uzaklık kadar devinir. O zaman Pisagor teoremine göre, ışık ışınının toplam yol uzunluğu (geri ve ileri)

$$L_2^{\,2} = 2\sqrt{l_2^{\,2} + \frac{U^2 t_2^{\,2}}{4}} \tag{4–2}$$

olur. Etherde ışık hızı C olduğuna göre,

$$t_2 = \frac{2}{C}\sqrt{l_2^{\,2} + \frac{U^2 t_2^{\,2}}{4}} \tag{4–3}$$

$$t_2^{\,2}\left(1-\frac{U^2}{C^2}\right) = \frac{4l_2^{\,2}}{C^2} \tag{4–4}$$

$$t_2 = \frac{2l_2}{C}\frac{1}{\sqrt{1-(U^2/C^2)}} \cong \frac{2l_2}{C}\left(1+\frac{U^2}{2C^2}+\ldots\right) \tag{4–5}$$

Zaman ayrımı

$$\Delta t = t_1 - t_2 = \frac{2}{C}\left(\frac{l_1}{1-(U^2/C^2)} - \frac{l_2}{\sqrt{1-(U^2/C^2)}}\right) \tag{4–6}$$

Eğer (edimsel deneyde olduğu gibi) $l_1 = l_2$ ise, o zaman

$$\Delta t \cong \frac{2l}{C}\left(1+\frac{U^2}{C^2}-1-\frac{U^2}{2C^2}\right) = \frac{l_1}{C}\frac{U^2}{C^2} \tag{4–7}$$

Δt hiç kuşkusuz saçak kayması ile orantılıdır.

Şimdi aygıtın 90° döndürüldüğünü varsayalım. O zaman, saçak kalıbının değişmesi gerekir. Böylece aygıtın döndürülmesi ile, sürekli olarak değişen bir saçak kaymasının gözlenebilmesi ve maksimum ve minimumun Yeryüzünün ether içindeki hızının yönünü belirtmesi gerekir. Saçak kaymasının büyüklüğünden, hızın kendisinin U değerinin hesaplanabilmesi gerekir.

Hiç kuşkusuz, raslantısal olarak deneyin yapıldığı anda Yeryüzü etherde dinginlikte olabilir ve bu nedenle aygıt döndürüldüğü zaman herhangi bir gözlenebilir değişim olmayabilir. Ama, 6 ay bekleyerek, Yeryüzünün hızının saniyede 36 mil kadar olması gerektiği çıkarsanabilir, ve buna göre o zaman bir saçak kayması gözlenebilir.

Tahmin edilen saçak kayması U^2/C^2 düzeninde olduğu için, hiç kuşkusuz çok küçük olmalıdır. Gene de, Michelson ve Morley'in aygıtları tahmin edilen kaymaları saptamaya yetecek denli duyarlı idi. Buna karşın, deney yapıldığında, deneysel doğruluğun sınırları içerisinde *sonuç olumsuzdu.* Yılın hiçbir mevsiminde hiçbir saçak kayması gözlenmedi. Daha sonra, benzer bir türden daha sağın deneyler Michelson ve Morley'in sonuçlarını doğrulamayı sürdürdü.

V

Ether Önsavını Kurtarma Çabaları

Michelson-Morley deneyi hiç kuşkusuz modern fizikteki en belirleyici deneylerden biriydi. Çünkü ışığın bir ether tarafından taşındığı önsavının doğrudan çıkarsamalarından bir bölümü ile çelişir. En sonunda uzay ve zaman kavramlarımızda görelilik kuramı tarafından getirilen köktenci değişimlere götürdü. Gene de bu deneyin bir sonucu olarak fizikçilerin düşüncelerini hemen değiştirdikleri sanılmamalıdır. Aslında, bütünüyle doğal olarak, ya şu ya da bu yolda etheri kurtarma, ya da hiç olmazsa Newton'ın devim yasalarının arkasında yatan "sağ-duyu" uzay ve zaman kavramlarını ve bunların bir Galileo dönüşümü (2–3) altındaki değişimsizliğini kurtarma amacıyla uzun bir almaşık önsavlar dizisi denendi. Buna karşın, tüm bu girişimler en sonunda başarısızlığa uğradı ya da öyle bir karışıklığa götürdü ki fizikçiler sonunda bu çizgiler boyunca daha ileri gitmemenin akıllıca olduğunu düşündüler.

Burada, Michelson-Morley deneyinin olumsuz sonuçlarını açıklarken, eski uzay ve zaman düşüncelerini sürdürebilmek için yapılan başlıca düşünce uyarlama ve ayarlamalarından bir kaçının özetini vereceğiz. (Bu çabaların daha kapsamlı bir açıklaması için, bkz. W. Panofsky ve M. Phillips, *Classical Electricity and Magnetism,* Addison-Wesley, Reading, Mass., 1956; ayrıca, C. Moller, *The Theory of Relativity*, Oxford, New York, 1952.)

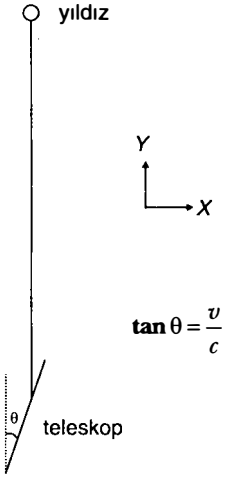
Bunlar arasında en yalın olanlardan biri Yeryüzü gibi cisimlerin havada giden bir topun yüzeyinin yakınlarındaki hava tabakasını sürüklemesi gibi etheri yakınlarında kendileri ile birlikte sürüklediği önerisi idi. Bir sonuç olarak, ölçülen ışık hızı mevsimler ile değişmeyecek, çünkü her zaman Yeryüzü ile birlikte devinen ether tabakası ile göreli olarak belirlenecekti.

Sir Oliver Lodge bir ışık ışınını hızla dönen bir diskin kenarının yakınından geçirerek böyle bir etki için bir sınama yapmaya çalıştı. Eğer disk bir ether tabakası sürüklüyorsa, ışık ışını üzerinde gözlenebilir etkiler beklenebilecekti. Ama bu deneyin sonuçları olumsuzdu.

Küçük bir nesne dikkate değer bir ether miktarını yanısıra sürüklemezken, buna karşı Yeryüzü gibi daha büyük bir cismin herşeye karşınbunu yapabileceği düşüncesi bütünüyle doğal olarak kendini gösterdi. Ama bu açıklama da ışığın sapması üzerine gözlemler sonucunda bir yana atıldı.

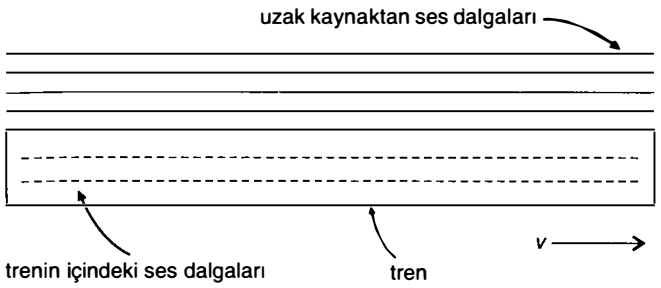
Bu problemi anlamak için, geçici olarak Yeryüzünün etheri kendisi ile birlikte sürüklemediği sayıltısını yeniden irdeleyelim. Varsayalım ki Yeryüzü ether ile göreli olarak Xyönünde Uhızı ile deviniyor (bkz. Şekil 5–1) ve bir gökbilimci teleskopunu, yalınlık uğruna, Yeryüzünün deviminin yönüne dikey bir yönde (Y) aldığımız uzak bir yıldıza çeviriyor olsun. Yıldızdan gelen ışık ether içinden Yyönünde yayılır. Bununla birlikte, teleskop Yeryüzü ile birlikte devindiği için, Yyönü ile göreli olarak belli bir θ açısında (genellikle çok küçük) çevrilmeli, ve buna göre $\tan\theta \cong \theta = V/C$olmalıdır. Yeryüzünün hızı yaz ve kış arasında 36 mil/sn kadar değiştiğine göre, yıldızın açısal konumu yaklaşık 2×10^{-4} rad kadar değişmelidir, ki iyi bir teleskopta gözlenebilecek bir değerdir. Ve kayma gerçekten de bulunur.

Şekil 5–1



Şimdi, eğer Yeryüzü ona bitişik bir ether tabakasını sürükleseydi, yıldızın konumunda böyle bir sapmanın (ya da kaymanın) görülmemesi gerekirdi. Problem devinen bir trene çarpan ses dalgaları durumunda ortaya çıkan probleme çok benzerdir. Problemi yalınlaştırmak için, yine dalgaların, Şekil 5–2'de belirtildiği gibi, çok uzak bir kaynaktan trenin yan duvarlarına dikey olarak çarptığını varsayalım. Bu dalgalar duvarları ve pencereleri aynı frekansta titreşime geçirecek ve bunlar da kendi paylarına trenin içindeki havayı titreşime geçirecektir. Açıktır ki çarpan ses bir düzlem dalga olduğu için, trenin duvarları aynı yönde karşılık düşen düzlem dalgalar yayacaktır. Dolayısıyla, trenin hızının değişmesi trenin içindeki sesin yönünde karşılık düşen bir değişim üretmeyecektir. Ve açıktır ki benzer bir yolda, uzak bir yıldızdan Yeryüzünün yüzeyinin yakınında devinen bir ether tabakasına çarpan düzlem ışık

Şekil 5–2



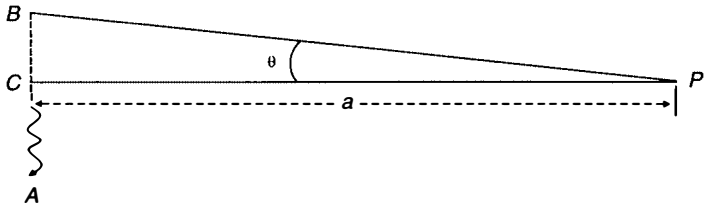
dalgaları yönleri açısından Yeryüzünün hızına herhangi bir bağımlılık göstermeyecektir.

Sir Oliver Lodge'un deneyi, ışık sapması üzerine gözlemler ile birlikte, bir ether sürüklenmesi önsavını oldukça kesin olarak dışlıyor görünür ve buna göre ether sürüklenmesi Michelson-Morley deneyinin olumsuz sonuçlarını açıklamak için kullanılamaz. Daha sonra almaşık bir öneri denendi: Belki de ışık hızının değeri hipotetik bir ethere göre değil ama ışık kaynağına göre C olarak belirlenir.

Hiç kuşkusuz Yeryüzündeki ışığın çoğunun kaynağı Güneştir, ama bu ışık kullanıldığında Yeryüzünün yüzeyindeki cisimlerden yansımış olacaktır. Bu kurama göre, son yansıma ışık hızını belirleyen ana etmen olacaktır. Böylece ister bir lamba isterse yansımış bir güneş ışığı kullanılsın, Yeryüzüne göreli olarak ışık hızının C olması beklenecek ve böylece Michelson-Morley deneyinin olumsuz sonucu açıklanacaktır.

Bu önsav (ışık sapması üzerine gözlemler de aralarında olmak üzere) eldeki olguların birçoğu ile tutarlıydı, ama çifte yıldızlar üzerine gözlemler açısından ciddi güçlüklere çarptı. Bu güçlüklerin neler olduğunu görmek için, yalınlık uğruna, (Şekil 5–3'te gösterildiği gibi) varsayalım ki eşit kütleli A ve B gibi iki yıldız C ortak kütle özeği çevresinde dairesel bir yörüngenin karşıt yanlarında deviniyor olsun (daha genel durum için benzer sonuçların doğacağı kolayca görülebilir). Yıldızların yörüngesinin özeğinden çok büyük bir d uzaklığında bir P gözlemcisi olduğunu düşünelim; bu durumda yıldızların yörüngelerinin karşısına düşen açı her zaman çok küçük olacaktır. Yalnızca sonunda P noktasına ulaşacak bir yolda yayılan ışık ışınlarını irdeliyoruz. t_1 zamanında gönderildikten sonra P'ye ulaşan ışık ışınları ile başlayalım; t_1 zamanında yörüngenin çapı o sırada görüş çizgisi olan PC çizgisi boyunca uzanır. Biraz cebir aracılığıyla (Pisagor teoremini içermek üzere), V/C'nin küçüklüğünden ötürü (ki burada V yörüngedeki dönüş hızıdır), her iki ışının da PC yönü boyunca aynı hız ile gidiyor olarak alınabileceğini görebiliriz (V^2/C^2 düzeninden terimleri gözardı ederek, çünkü bunlar sonraki tartışmada ilgili oldukları görülecek olan V/C düzeninden belli

Şekil 5–3



terimler ile ilişki içinde küçüktür). Işığın daha yakın *A* yıldızından *P*'ye ulaşması için gereken zaman

$$T_{1A} = \frac{d-a}{C} \tag{5–1}$$

olacak (ki burada *a* yörüngenin yarıçapıdır), ve daha uzak *B* yıldızından *P*'ye ulaşması için gereken zaman ise

$$T_{1B} = \frac{d+a}{C} \tag{5–2}$$

olacaktır. İki yıldız yörüngelerinde ilerlerken (ışık hızı ışığı yayan yıldız ile göreli olarak her zaman *C* olmak üzere), *A* ve *B*'den *P*'ye ulaşan ışınlar değişik hızlar kazanmaya başlayacaktır. Gerçekten de, yörüngenin çapının görüş çizgisine dikey olduğu t_2 zamanında, *P*'den uzaklaşmakta olan *A*'dan gelen ışığın hızı $C - V$, ve bu arada *P*'ye yaklaşmakta olan *B*'den gelen ışığın hızı $C + V$ olacaktır. (Burada θ'nın küçüklüğünü θ^2 düzenindeki terimleri gözardı etmek için kullandık). Bu ışığın *P*'ye ulaşması için gereken zamanlar (kullanmakta olduğumuz yaklaşıklıklarda)

$$T_{2A} = \frac{d}{c-v} \qquad T_{2B} = \frac{d}{c+v} \tag{5–3}$$

olacaktır. Son olarak, yörüngelerin 180° boyunca döndüğü (ve böylece çapın bir kez daha görüş çizgisi boyunca olduğu) t_3 zamanında,

$$T_{3A} = \frac{d+a}{C} \qquad T_{3B} = \frac{d-a}{C} \tag{5–4}$$

olacaktır. Şimdi şu hesaplamayı yapalım:

$$\Delta T = T_{2A} - T_{1A} = \frac{d}{c-v} - \frac{(d-a)}{C} \cong \frac{a}{c} - \frac{d}{c}\frac{v}{c} \tag{5–5}$$

Bu v/c'de birinci-düzenden bir niceliktir. Dahası, *d* bir gökbilimsel uzaklık düzeninde olduğu için, kolayca $(dv)/c^2 > a/c$ olabilir. Böyle bir durumda, *A* yıldızından t_2'de yayılan ışık *P*'ye bu yıldızdan t_1'de yayılan ışıktan önce ulaşacaktır. Bu nedenle *A* yıldızından hiçbir ışığın *P*'ye ulaş-

madığı karşılık düşen bir zaman döneminin olması gerekecektir (hiç kuşkusuz *B* yıldızı için de benzer sonuçlar alınacaktır). Bu çifte yıldızdan gelen ışığın yeğinliğinde oldukça çarpıcı ve kolayca gözlenebilir türde bir değişim üretecektir, ki gerçekte bulunmuş değildir. Buna göre, ışığın kaynağı ile göreli olarak bir *C* hızı ile yayıldığı önsavının savunulabilir olmadığı vargısını çıkarırız.

VI

Lorentz Elektron-Kuramı

Ether önsavını 4 ve 5'inci Bölümlerde alıntılanan türde deneylerin sonuçları ile uzlaştırma yönünde bütünüyle değişik bir girişim Lorentz tarafından geliştirildi. Lorentz kuramı, göreceğimiz gibi, gerçekten de böyle bir uzlaşmaya götürdü; ama bunu yapmakla, uzay ve zaman ölçümlerinin anlamını çok daha derin bir düzende ilgilendiren yeni problemler yarattı ve bunlar Einstein'ın köktenci anlamda yeni uzay ve zaman kavramları için bir temel sağladı.

Lorentz kuramı bugün artık genellikle kabul edilmese de, belli bir ayrıntıda incelemeye değerdir, çünkü yalnızca görelilik kuramının doğuşuna götüren tarihsel bağlamın anlaşılmasını sağlamakla kalmaz, ama ayrıca, ve çok daha büyük ölçüde, Einstein'ın probleme yeni yaklaşımının özsel içeriğini anlamamıza yardımcı olur. Gerçekten de, Lorentz kuramının eleştirel bir irdelemesi daha şimdiden tanınan ve kabul edilen fiziksel kavramlar temelinde Newton'ın uzay ve zaman kavramlarında neyin yanlış olduğunu açıkça görmeye götürür, ve ayrıca bu kavramların yol açtığı güçlüklerden kaçınabilmek için gereken değişimlerin pek çoğunu ortaya koyar.

Lorentz bir ether sayıltısını kabul ederek başladı. Bununla birlikte, temel olarak yeni olan adımı uzay ve zamanı ölçme sürecinin özdeğin atomik yapısı ve özdeğin ether içerisindeki devimi arasındaki ilişki üzerine bağımlılığını incelemekti.

Özdeğin elektron denilen negatif yüklü parçacıklardan ve elektronları kendilerine doğru çeken pozitif yüklü cisimlerden (ki Rutherford tarafından küçük çekirdekler biçiminde oldukları gösterildi) yapılı atomlardan oluştuğu şimdiden biliniyordu. Atomlar arasında onları moleküllere ve en sonunda makroskopik katı nesnelere bağlamadan sorumlu kuvvetlerin, usayatkın zeminler üzerine, bir atomun elektronları

ve pozitif yüklü parçası arasındaki çekici kuvvetlerden, ve elektronlar ve elektronlar arasındaki itici kuvvetlerden doğduğu varsayıldı. Örneğin bir kristal örüntüyü (*lattice*) irdeleyelim. Böyle elektriksel kuvvetlerin bir dengeye geldiği yerler o zaman örüntüdeki ardışık atomlar arasındaki D uzaklığını belirleyecektir, öyle ki, son çözümlemede, verili herhangi bir yönde belirli bir sayıda atomik adımı kapsayan böyle bir kristalin büyüklüğü bu yolda belirlenir.

Lorentz elektriksel kuvvetlerin özde etherdeki gerginlik ve gerinim durumları olduğunu varsaydı. Maxwell'in denklemlerinden (ki etherin dinginlikte olduğu gönderme çatısında geçerli oldukları varsayılır) yüklü bir parçacığı kuşatan elektromanyetik alanı hesaplamak olanaklıydı. Etherde dinginlikte olan bir parçacık için bu alan bir ϕ gizilgücünden türetilebilirdi; ϕ yükten R uzaklığının küresel olarak simetrik bir fonksiyonudur, ya da, $\phi = q/R$ (ki burada q parçacığın yüküdür). Ether içinden bir $\mathbf{v}$ hızı ile devinen bir yük için benzer bir hesaplama yapılınca, kuvvet alanının bundan böyle küresel olarak simetrik olmadığı bulundu. Tersine, simetrisi bir çevrinme elipsinin simetrisi oldu ki, bunun çapları hıza dikey yönlerde değişmez ama devim yönünde $\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ oranında kısalır. Bu kısalma açıktır ki elektronun ether içinden deviminin bir etkisidir.

Kristalin atomlarının tümüne bağlı elektriksel gizilgüç tam olarak kristali oluşturan her bir parçacığa bağlı gizilgüçlerin toplamı olduğu için, bundan şu çıkar ki bütün bir eş-gizilgüçler kalıbı, tek bir elektronunun alanı durumunda olanla tam olarak aynı yolda, devim yönünde kasılır ve dikey yönde değişmeden kalır. Şimdi atomların denge konumları minimum gizilgüç noktalarındadır (ki o noktalarda üzerlerindeki net kuvvet sıfırlanır). Bundan şu çıkar ki eş-gizilgüçler kalıbı devim yönünde kasıldığı zaman, bütün çubukta aynı yönde karşılık düşen bir kasılma olacak, ve böylece çubuk $\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ oranında kısalacaktır. Bir sonuç olarak, dinginlikte l_0 uzunluğunda olan bir ölçme çubuğu, uzunluğunun yönünde bir v hızı ile devinirken,

$$l = l_0\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \qquad (6\text{–}1)$$

boyutunda olacaktır. Ama eğer çubuk devim yönüne dikey ise, uzunluğu hiç kuşkusuz değişmeyecektir.

Şimdi Michelson-Morley deneyine geri dönelim. Girişimölçerin kolları atomlardan oluştuğu için, (6–1) denklemi tarafından verilen aynı değişime uğramalarını bekleriz. Bununla birlikte, yalnızca uzunluğu devim yönüne koşut olan çubuk kısalacaktır; öteki çubuk uzunlukta herhangi bir değişime uğramayacaktır. İki çubuğun dinginlikte iken uzunluklarının eşit olduğu varsayıldığı için, (4–6) denkleminde

$$l_1 = l_0\sqrt{1-(v^2/c^2)} \qquad l_2 = l_0 \qquad (6\text{–}2)$$

değerlerini yazar ve şunu elde ederiz:

$$\Delta t = \frac{2l_0}{c}\left(\frac{1}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} - \frac{1}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}}\right) = 0 \qquad (6\text{–}3)$$

Bu yolda, Yeryüzünün hızından bağımsız olarak, hiçbir saçak kayması olmayacağını hesaplar, böylece ether kuramını Michelson-Morley deneyinin sonuçları ile uzlaştırırız. Bu uzlaşma hiç kuşkusuz ether içinden devinen bir nesnede *Lorentz kasılması* denilen şeyin doğrudan bir sonucudur.[2]

[2]Fitzgerald daha önce *ad hoc* zeminlerde benzer bir kasılma önermişti, ama onu kuramsal olarak aklayan ilkin Lorentz oldu.

VII

Lorentz Kuramının Daha Öte Gelişimi

Bölüm 6'da betimlenen sonucun çok anlamlı olmasına karşın, kendi başına bu problemde önemli olan tüm etmenlerin tam bir açıklamasını vermez. Böylece, ışık hızının gerekli doğruluk ile doğrudan ölçümünün Lorentz'in zamanında olanaklı olmamasına karşın, açıktır ki böyle ölçümler gerçekleştirilebilir olduğunda (şimdi olduğu gibi) ne olacağını tahmin etmek onun için zorunluydu. Çünkü belki de henüz çok sağın bir Fizeau deneyi yoluyla Yeryüzünün ether ile göreli v hızını ölçmek ve bunu (3–2) denklemindeki v^2/c^2 düzeninden terimleri kullanarak yapmak olanaklı olabilirdi.

Problemi ele almak için Lorentz'in yalnızca ether içinden devinen cetvellerin kasılacakları olgusunu değil, ama ayrıca saatler üzerinde karşılık düşen belli bir etkinin olabileceğini de dikkate alması gerekli oldu (çünkü ışık hızını bu yolda ölçmek için *hem* bir cetvel *hem de* bir saat gereklidir). Bu problem çözümlemesi oldukça karışık bir problemdir, ve bu nedenle ilgili başlıca etmenlerin bir bölümünün yalnızca taslağını vereceğiz.

Tipik bir saat $M\ddot{X} = -KX$ denklemini doyuran uyumlu bir salınaçtır (*oscillator*), ve burada M saatin kütlesi ve K onun kuvvet değişmezidir. Dönemini şu formül verir:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{M}{K}} \qquad (7\text{–}1)$$

Şimdi, ilk olarak devinen bir elektronun kütlesine ne olduğunu irdeleyelim. Bir elektronu ivmelendirirken sürekli olarak artan bir manyetik

alan yaratırız. İyi bilindiği gibi, değişen bir manyetik alan bir elektriksel alan üretir. Ve Lenz'in yasasına göre, bu elektriksel alan ilk olarak artan manyetik alanı üreten elektromotif kuvvete *karşıt* olacak bir doğadadır. Başka bir deyişle, elektromanyetik süreçlerde bir tür süredurum ya da değişime direnç vardır ki, örneğin bir bobinin indüklenme özelliğinde kendini gösterir. Bir elektron durumunda bu süredurum ivmeye bir direnç olarak görünür. Ayrıntılı bir hesaplama (ki bu çalışmanın alanının ötesindedir), eğer bir elektrona **a** ivmesi verilirse,

$$\mathbf{F}_l = -\lambda \mathbf{a} \tag{7–2}$$

denklemi tarafından verilen bir "geri kuvvet/*back force*" olduğunu gösterir, ki burada λ elektronun yük büyüklüğü ve dağılımı üzerine dayalı bir değişmezdir. (Yavaş-devinen bir küresel-kabuk yükü ya da r_0 yarıçapı ve q yükü için, $\lambda \cong q^2/r_0$.) Elektronun devim denklemi o zaman

$$m_m \mathbf{a} = -\lambda \mathbf{a} + \mathbf{F} \tag{7–3}$$

olur ki, burada m_m sıradan "mekaniksel" kütle ve **F** uygulanan kuvvetin arta kalanıdır (ivmelenen elektronun kendisi tarafından üretilen alana bu tepkisinin üzerindeki bölüm). Bu denklem

$$(m_m + \lambda)\,\mathbf{a} = \mathbf{F} \quad \text{ya da} \quad m\mathbf{a} = \mathbf{F} \tag{7–4}$$

olarak yeniden yazılabilir ki, burada $m = m_m + \lambda$. Belirtmek gerek ki, edimsel devim denklemlerinde bir *m etker kütlesi* vardır ve buna *gözlemlenen kütle* de denebilir. Çünkü parçacığı ivmelendirmek için gereken kuvveti gözlemlerken ölçülen bu kütledir. Öte yandan, λ "elektromanyetik kütle" olarak adlandırılır ve açıktır ki etker kütleyi vermek üzere m_m'ye eklenmelidir.

Böyle bir etker kütle hidrodinamikte de bulunur. Hidrodinamikte devinen bir topun yakınındaki sıvıyı sürüklediği ve buna göre ivmeye direncinin bir boşlukta bulunan böyle bir topun direncinden daha büyük olduğu gösterilir. Denebilir ki elektronun yakınındaki elektromanyetik alan da benzer olarak süreduruma katkıda bulunur.

Yukarıdaki irdelemeler mekaniğin denklemlerinin elektrodinamiğin denklemleri ile derinden bağlı olduğunu gösterir. Eğer m_m ve λ arasında ayrım yapmanın bir yolu bulunabilseydi, bu ilişki özellikle önemli olurdu. Lorentz'e göre böyle bir ayrım ilkede olanaklı olmalıdır. Çünkü Lorentz kuramı üzerine dayalı daha öte bir hesaplama λ elektromanyetik kütlesinin ether ile göreli hızın bir fonksiyonu olduğunu gösterdi.

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \tag{7–5}$$

ki burada λ_0 etherde dinginlikte olan bir elektronun elektromanyetik kütlesidir. Öte yandan, Newton kavramlarına göre, mekanik kütlenin hızdan bağımsız bir değişmez olması gerekir. Buna göre etker kütle için şu formülü yazarız:

$$m = m_m + \frac{\lambda_0}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \tag{7–6}$$

O zaman, etker kütlenin hız ile değişmesinin incelemesi yoluyla, m_m mekanik kütlesi $\lambda_0/\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ elektromanyetik kütlesinden ayırdedilebilmelidir. Gerçekte katot-ışını e/m ölçümleri ile böyle incelemeler yapılmıştır. Bu deneyler etker kütlenin gerçekte hız ile birlikte ve $1/\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ oranında arttığını ortaya çıkarır. Böylece, öyle görünür ki ya *tüm* kütle kökende elektromanyetiktir ya da, bilinmeyen bir nedenle, elektromanyetik-olmayan m_m mekanik kütlesi *de* $1/\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ ile orantılıdır. Mekaniğin yasaları söz konusu olduğu sürece, bu önsavların her ikisi de aynı sonuçlara götürür, öyle ki, bu tartışmada, kütlenin kökenine ilişkin soru ile daha öte ilgilenmemiz gerekmez. Bizim için *gerçekte*

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \tag{7–7}$$

formülünün elimizde olduğuna dikkat etmek yeterlidir, ki burada m_0 etherde dinginlikteki parçacığın gözlemlenen kütlesidir.

O zaman açıktır ki ether içinden devinen bir saatte her parçacık ağırlaştığı için, böyle bir saat daha yavaş salınım yapmalıdır. Bununla birlikte, dönemi hesaplamak için yalnızca kütle değişimini değil, ama ayrıca K kuvvet değişmezindeki değişimi de dikkate almamız gerekecektir. Bu ether içinden devimin atomlar arası kuvvetlerdeki etkilerinin biraz ayrıntılı bir araştırmasını gerektirecektir—bir tartışma ki burada sunulmayacak denli uzundur.

Böyle bir hesaplama $K = K_0\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ olduğunu gösterecek ve sonuçta

$$T = \frac{T_0}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \tag{7–8}$$

elde edilecektir, ki burada T_0 etherde dinginlikte olan saatin dönemi ve T karşılık düşen saatin ether içinden devimi sırasındaki dönemidir. Böylece ether içinden devinen saatler

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \tag{7–9}$$

oranında yavaşlar.

Şimdi laboratuar ile birlikte devinen kişi de atomlardan oluşmuştur. Öyleyse bedeni cetvelleri ile aynı oranda kısalacak, öyle ki bir değişimin yer aldığını anlamayacaktır. Benzer olarak, fiziksel-kimyasal süreçleri de saatleri ile aynı oranda yavaşlayacaktır. Büyük olasılıkla ansal süreçleri eşit bir oranda yavaşlayacak ve böylece saatlerinin değişmiş olduğunu görmeyecektir. Bu nedenle cetvellerine etherde dinginlikte olsalardı taşıyacak oldukları aynı l_0 uzunluğunu yükleyecek, ve benzer olarak

saatlerine yine aynı T_0 dönemini yükleyecektir. Dolayısıyla deneysel sonuçlarını yorumlarken bunu dikkate almalıyız.

Şimdi ışık hızının Fizeau yöntemi ile ölçümüne geri dönelim. Bir laboratuarın Yeryüzünün yüzeyi ile birlikte devinen saatleri ve cetvelleri değişime uğradığı için, en iyisi bu deneyi kendimizi ethere göre dinginlikte olan bir gönderme çatısı içinde imgeleyerek betimlemek olacaktır. Işık hızı o zaman bu gönderme çatısında c olacaktır. Bir ışık ışını ether çatısında ölçüldüğü gibi $t = 0$ zamanında dişli çarka girsin (bkz. Şekil 3–2). Yeryüzünün yüzeyinin (laboratuar ile birlikte) ether içinden v hızı ile devindiğini varsayıyoruz. t_1 bir ışık ışını için A'dan çıkarak B'de onu yansıtacak olan aynaya gidiş zamanı olsun. Laboratuarın devimini anımsarsak:

$$l + vt_1 = ct_1 \quad \text{ya da} \quad \frac{\qquad}{c \quad v} \tag{7–10}$$

Geriye dönmekte olan ışık ışını için benzer olarak şunları elde ederiz:

$$t_2 = \frac{l}{c+v} \quad \text{ve} \quad T = t_1 + t_2 = \frac{2l}{c}\frac{1}{1-(v^2/c^2)} \tag{7–11}$$

Ama şimdi anımsıyoruz ki cetvelin edimsel uzunluğu $l = l_0\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ değerine kısalırken, bu arada saatin dönemi $T = T_0\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ değerine yükselir. Bu değerlerin denklem (7–11)'de yerine koyulması şunları verir:

$$\frac{T_0}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} = \frac{2l_0}{c}\frac{1}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \quad \text{ya da} \quad T_0 = \frac{2l_0}{c} \tag{7–12}$$

Bu sonuç laboratuarın ether ile göreli hızından bağımsızdır. Ama eğer laboratuardaki gözlemci cetvellerine ve saatlerine ne olduğunu anlamazsa, ve ışık hızını onların değişmemiş olduğu sayıltısı altında ölçerse, hiç kuşkusuz bu hızı $2l_0/T_0$ olarak hesaplayacaktır. Böylece tanıtlamış oluruz ki, devinen saatlerdeki Lorentz kasılması ve yavaşlaması nedeniyle, eğer her bir gözlemci kendi aletlerinin doğru kayıt yaptığını varsayarsa, *tüm gözlemciler Fizeau yöntemi yoluyla ışık hızı için aynı ölçümleri elde edecektir.* Bu hiç kuşkusuz *Fizeau deneyinin Yeryüzünün ether ile göreli hızını bulmak için kullanılamayacağı* anlamına gelir, çünkü sonucu bu hızdan bağımsızdır.

VIII

Lorentz Kuramında Eşzamanlılığı Ölçme Problemi

Bölüm 6 ve 7'nin sonuçları bize *ne* Michelson-Morley deneyinin *ne de* Fizeau deneyinin Yeryüzünün ether ile göreli hızı konusunda bir bilgi verebildiğini gösterir. Gene de açıktır ki bu hız Lorentz kuramında özsel bir rol oynar. Çünkü onu bilmedikçe, ether ile göreli olarak dinginlikte olan cetveller ve saatler tarafından belirtilecek "doğru uzunluk" ve "doğru zaman"ın nasıl ölçüleceğini bulmak için cetvellerimizi ve saatlerimizi düzeltemeyiz.

Bu soru üzerine bilgi sağlamak için daha öte bir girişim olarak ışık hızını ölçmenin daha başka bir yolunu irdeleyelim. Laboratuar gönderme çatısında ölçüldüğü gibi bir l_0 uzaklığı tarafından ayrılan A ve B gibi iki nokta düşünelim. Varsayalım ki laboratuar ether ile göreli olarak AB çizgisi yönünde bir v hızı ile deviniyor olsun. A'dan B'ye bir ışık sinyali gönderelim ve sinyalin A'dan B'ye geçmesi için gereken t_0 zamanını (laboratuar saatleri tarafından belirtildiği gibi) ölçelim. Ölçülen ışık hızı o zaman şu olacaktır:

$$C_m = \frac{l_0}{t_0} \tag{8–1}$$

Eğer bu ölçülen hızın hesaplanabilir bir yolda laboratuarın ether ile göreli hızı üzerine bağımlı olduğunu gösterebilirsek, o zaman bu hızı bulma, ve böylece cetvellerimizin ve saatlerimizin "doğru uzunluklar" ve "doğru zamanlar" vermek üzere düzeltilmesine izin verme problemimizi çözebiliriz.

Eğer A ve B noktalarına sağın olarak *senkronize edilmiş* eşdeğer saatler yerleştirebilirsek, ilkede deneyi yapabiliriz. Sinyalin yola çıkışı üzerine A noktasındaki saatten ve varışı üzerine B noktasındaki saatten yapılan

okumalar arasındaki ayrım o zaman t_0'a eşit olacaktır. Ama saatleri nasıl senkronize edebiliriz? Yaygın bir yol radyo sinyalleri kullanmaktır. Ama bu açıktır ki burada işe yaramaz, çünkü radyo dalgaları ışık hızı ile yol alır ki, hiç kuşkusuz deney yoluyla belirlemeye çalıştığımız şey tam olarak bu hızın kendisidir. Bu nedenle saatleri senkronize etmenin salt mekanik olan bir başka yolunu önereceğiz. İki benzer saat yapalım, onları yan yana koyalım ve senkronize edelim. Aynı hız ile işlediklerini doğruladıktan sonra, sarsıntılara ve dürtülere bağlı ivmeler yoluyla iç düzeneklerinin devimlerini bozmayacak bir yolda saatleri çok yavaş ve yumuşak bir yolda ayıralım. O zaman, en azından Newton mekaniğinin ve ayrıca "sağ-duyu"nun genellikle kabul edilen ilkelerine göre, iki saatin ayrılma sırasında aynı hızlarda işlemeyi sürdürmeleri gerekir ve buna göre senkronize kalırlar. Bunu sınamak için, onları benzer bir yolda biraraya geri getirebilir ve aynı okumaları göstermeyi sürdürüp sürdürmediklerini görebiliriz.

Şimdi eğer ether ile göreli olarak v hızı ile devinen bir laboratuarda olsalardı bu saatlere ne olacağını görelim. Bir kez daha, kendimizi etherde dinginlikte olan gözlemciler olarak imgeliyoruz. Saatler başlangıçta birarada ve karşılaştırılmakta iken, etherde dinginlikte olan benzer saatlerden $\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ oranında daha yavaş işlediklerini görürdük. Şimdi A saati laboratuarda aynı yerde kalırken, B saati devindirilir. Devinirken, ether ile göreli hızı $v+\delta v$'dir. Devimin yumuşak ve dereceli olmasını sağlayabilmek için, $\delta v \ll v$ olduğunu varsayıyoruz. Eğer l ether gönderme çatısında ölçüldüğü gibi en son ayrılma ise, ve τ ayrılma için gereken zaman ise (yine ether gönderme çatısında ölçüldüğü gibi), o zaman

$$l = \delta v \tau \tag{8–2}$$

Saatler ayrılmakta iken, hafifçe ayrı oranlarda işliyor olacaklardır. Gerçekten de, eğer $\nu_0 = 1/T_0$ bir saatin etherde dinginlikte olduğu zamanki frekansı ise, o zaman A saatinin ether gönderme çatısında gözlendiği gibi "doğru" frekansı

$$\nu_A = \nu_0 \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \tag{8–3}$$

iken B saatinin frekansı ise

$$\nu_B = \nu_0 \sqrt{1-\frac{(v+\delta v)^2}{c^2}} \tag{8–4}$$

olacaktır. δv'nin üslerinde açarak, ve δv'nin yalnızca birinci üslerini koruyarak, şunu elde ederiz:

$$\nu_A - \nu_B \cong \frac{\delta v \nu_0 (v/c^2)}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} = \frac{\delta v \nu_A (v/c^2)}{1-(v^2/c^2)} \tag{8–5}$$

Eğer saatleri ayırmak için bir τ zamanı gerekli ise, o zaman saatlerin evre ayrımları şöyle olacaktır:

$$\Delta\phi = (\nu_A - \nu_B)\tau = \frac{\nu_A \tau \delta v (v/c^2)}{1-(v^2/c^2)} = \frac{\nu_A l (v/c^2)}{1-(v^2/c^2)} \tag{8–6}$$

Zaman okumalarındaki ayrım

$$t_A - t_B = \frac{\Delta\phi}{\nu_A} = \frac{l(v/c^2)}{1-(v^2/c^2)} \tag{8–7}$$

olacaktır. $l = l_0[1-(v^2/c^2)]^{1/2}$ yer değişimi şunu verir:

$$t_A - t_B = \frac{l_0(v/c^2)}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \tag{8–8}$$

O zaman saatlerin l_0 ayrılıkları ve ν ile orantılı bir miktar kadar evre dışına çıktığını görürüz. δv ayrılmakta olan iki saatin hemen hemen aynı hızda işleyecekleri kadar küçük olsa bile, $\tau = l/\delta v$ zaman aralığı karşılık düşen bir yolda artar, öyle ki bütünsel göreli evre kayması δv'den bağımsızdır. Ayrıca belirtmeye değer ki, benzer bir uslamlama yoluyla, eğer yine biraraya geri getirilecek olurlarsa iki saatin yeniden evre birliğine girecekleri ve aynı okumaları verecekleri gösterilebilir.

Hiç kuşkusuz, δv büyük olduğu zaman, δv'nin üs açılımı daha ileri götürülmelidir, ve saatler arasındaki evre ayrımı bundan böyle (8–6) - (8–8) denklemleri yoluyla verilmeyen oldukça karışık bir fonksiyona döner. Daha sonra göstereceğiz ki (bkz. Bölüm 28), δv C'ye yaklaşırken, birbirinden ayrılan ve daha sonra yeniden biraraya getirilen iki saat gerçekten de aynı okumayı göstermeyecektir. Ama şimdilik kendimizi küçük δv değerine sınırladığımız için, (8–6) - (8–8) denklemleri geçerli olacaktır.

Yukarıdaki tartışmanın tanıtladığı şey iki saat eşdeğer yapıda olsa ve yan yana aynı hızda işlese bile, ayrılmaları üzerine senkronizmden çıkacakları ve değişik zaman okumaları verecekleridir, gerçi yeniden geriye biraraya getirildiklerinde senkronize okumalara geri dönecek olsalar da (yeter ki saatlerin δv göreli hızı hiçbir zaman çok büyük olmasın). Öte yandan, laboratuar gönderme çatısında (ki genellikle ether ile göreli olarak devinir) bulunan ve bu evre kaymasının varoluşunu algılamayan gözlemci elindeki A ve B gibi iki saat aynı okumaları verdiği zaman iki olaya eşzamanlı diyecektir. Böylece neyin eşzamanlı olduğu ve neyin olmadığı konusunda bir yanlışlık yapacaktır.

Bir laboratuar gözlemcisi tarafından yüklenen zamanlar ve etherde dinginlikteki saatler tarafından ölçüldüğü gibi "doğru" zamanlar arasındaki ilişkiyi bulmaya çalışalım [dikkat edin ki (8–8)'e göre, $v = 0$ iken, yer değiştiren saatler senkronize kalır, öyle ki etherde dinginlikte olan böyle saatler değişik yerlerde olsalar bile "doğru" zamanı ölçerler. (D.B.)]. Şimdi laboratuar saat okumasının yalnızca $t' = t_0/\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ formülüne göre düzeltilmesi zorunlu olmakla kalmaz, ama eşzamanlılıktaki yanılgının da giderilmesi gerekir; denklem (8–8)'den görürüz ki, yer değiştiren saat yer değiştirmeyen saatten *daha küçük* bir okuma verir, öyle ki (8–8) değeri t' değerine *eklenmelidir*. Bu şunu verir:

$$t = \frac{t_0 + vl_0 / c^2}{\sqrt{1 - (v^2 / c^2)}} \qquad (8\text{–}9)$$

Şimdi A'daki bir ışık çakmasının yayılması ve ışığın B'de alınmak üzere ölçülü bir uzaklık boyunca gitmesi için gereken zamanın bulunması yoluyla ışık hızını ölçme problemine geri dönelim. Varsayalım ki laboratuar donatımının yardımıyla ölçülen uzaklık ve zaman sırasıyla l_0 ve t_0 olsun ve *ölçülen* ışık hızı $c_m = l_0/t_0$ olarak verilsin. Dahası, varsayalım ki laboratuar AB çizgisi yönünde ether ile göreli olarak bir v hızında deviniyor olsun. l uzaklığı A ve B arasındaki "doğru/*true*" uzaklık olsun. Ama laboratuar devinmekte olduğu için, ışık bir $l' = l + vt$ uzaklığı kadar yol almalıdır (burada t ışığın A'dan B'ye gitmesi için alınan "doğru" zamandır). $l' = ct$ olduğu için,

$$l = (c - v)t$$

olur. Ama (8–9)'u kullanarak, ve $l = l_0/\sqrt{1 - (v^2 / c^2)}$ ile, şuna ulaşırız:

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}\, l_0 = \frac{(c - v)(t_0 + vl_0 / c^2)}{\sqrt{1 - (v^2 / c^2)}}$$

$$l_0 = ct_0 \qquad (8\text{–}10)$$

Bunu (8–1) ile karşılaştırırsak görürüz ki, devinen gözlemci ether içindeki kendi hızından bağımsız olarak ışık için her zaman aynı *ölçülen* hızı ($Cm = C$) elde edecektir.

IX

Lorentz Dönüşümü

6, 7 ve 8'inci Bölümlerde gördüğümüz gibi Lorentz kuramı ether ile göreli ışık hızını gözlemlemenin çeşitli doğal yöntemlerinin (Michelson-Morley deneyi, Fizeau dişli-çark deneyi, ve bir sinyalin iki nokta arasında iletilmesi için gereken zamanın doğrudan ölçümü) laboratuar aletlerinin hızından bağımsız olan sonuçlara götürdüğünü imler. O zaman sonuçları bu hız üzerine bağımlı kılan ve böylece bu hızın ölçülmesine izin veren *herhangi bir deneyin* varolup olmadığı sorusu doğar. Bu bölümde Lorentz kuramına göre gerçekte böyle hiçbir deneyin olanaklı olmadığını göstereceğiz.

Bir olayın ether içinden laboratuar ile birlikte devinen aletler yoluyla ölçülen x', y', z' koordinatları ve t' zamanı ve etherde dinginlikteki karşılık düşen aletler yoluyla ölçülen "doğru" x, y, z koordinatları ve "doğru" t zamanı arasındaki ilişkiyi bularak başlayacağız (bkz. Şekil 9–1).

Elverişlilik uğruna, içlerinde $x' = y' = z' = t' = 0$ koordinatları ile bir olayın $x = y = z = t = 0$ koordinatları ile bir başka olaya karşılık düştüğü koordinat çatılarını irdeleyelim. Laboratuarın z yönünde bir v hızı olduğunu varsayıyoruz. Eğer laboratuar gönderme çatısında ön kenarı $z' = l_0$'da iken arka kenarı $z' = 0$'da olan durağan bir ölçme çubuğunu irdelersek, o zaman denklem (8–9) bize şimdiden $z' = l_0$'a karşılık düşen t zamanı için uygun anlatımı verir. $z' = l_0$ ile şunu elde ederiz:

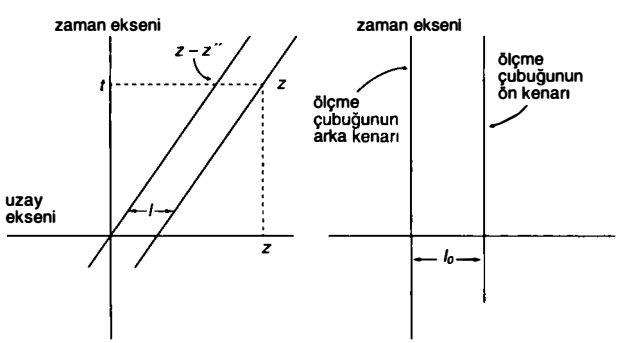
$$t = \frac{t' + vz'/c^2}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \tag{9–1}$$

x ve y değerleri z yönündeki devimler tarafından değiştirilmediği için,

$$x = x' \qquad y = y' \tag{9–2}$$

Geriye yalnızca z için z' ve t' terimlerinde karşılık düşen bir anlatım bulma problemi kalır. Gerçekte, z' değerini z ve t terimlerinde çözerek

Şekil 9–1



başlamak öteki yoldan başlamaktan daha kolaydır. Bunu yapmak için, ilkin ether gönderme çatısında cetvelin uzunluğunun yönü boyunca v hızı ile devindiğini anımsıyoruz. Problemi yalınlaştırmak için, varsayalım ki $t = 0$'da cetvelin arka kenarı $z = 0$'dan geçiyor olsun. İki gönderme çatısında koordinatların köken noktalarını seçimimiz ile uyum içinde, bu durum laboratuar gönderme çatısında $z' = 0$ ve $t' = 0$'a karşılık düşecektir. O zaman, eğer cetvelin ön kenarı z noktasına t zamanında ulaşırsa (ki bunlar laboratuar gönderme çatısında z', t' değerlerine karşılık düşer), cetvelin edimsel uzunluğu $z'' = z - vt$ olacaktır (devimini dikkate alarak). Lorentz kasılmasından, $z'' = z'\sqrt{1-(v^2/c^2)}$, ya da

$$z' = \frac{z - vt}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \tag{9–3}$$

elde ederiz. Yukarıda t yerine (9–1)'i geçirerek şunu elde ederiz:

$$z' = -\frac{v^2}{c^2}\frac{z'}{1-(v^2/c^2)} - \frac{vt'}{1-(v^2/c^2)} + \frac{z}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \tag{9–4}$$

Biraz cebir şunu verir:

$$z = \frac{z' + vt'}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \tag{9–5}$$

(9–1), (9–2) ve (9–5) denklemleri x, y, z, t değerlerini x', y', z', t' değerlerinin fonksiyonları olarak anlatır, ve böylece "doğru" koordinatlar ve ether ile göreli olarak V hızında z yönünde devinen bir gözlemci tarafından ölçülen koordinatlar arasındaki bir dönüşümü tanımlar. Buna *Lorentz dönüşümü* denir.

Almaşık olarak, (9–1)'den z'yi kaldırabilir ve böylece şunu elde edebilirdik:

$$t' = \frac{t - vz / c^2}{\sqrt{1 - (v^2 / c^2)}} \tag{9–6}$$

(9–3), (9–6) ve (9–2) denklemleri şimdi x', y', z', t' değerlerini x, y, z, t değerlerinin fonksiyonları olarak anlatır. Bu x, y, z, t değerlerinden x', y', z', t' değerlerine *evrik* Lorentz dönüşümüdür. Dönüşümün yönü ve evrik biçimleri hiç kuşkusuz eşdeğerdir, çünkü biri ötekinden türetilebilir.

Şimdi $t = 0$'da ($x = y = z = 0$) köken noktasından yayılan bir ışık dalgasını irdeleyelim. Bir ışık dalgası ether içinden C hızında yayılacaktır, öyle ki dalga önü şu yüzey tarafından tanımlanır:

$$c^2t^2 - x^2 - y^2 - z^2 = 0 \tag{9–7}$$

Şimdi bunu x', y', z', t' terimlerinde anlatalım. (9–1), (9–2) ve (9–5) denklemlerini kullanarak şunu elde ederiz:

$$c^2t'^2 - x'^2 - y'^2 - z'^2 = 0 \tag{9–8}$$

(9–8) denkleminden görürüz ki ön ayrıca x', y', z', t' gönderme çatısında C "ölçülen hızı" ile yayılan bir dalgayı temsil eden bir küre olacaktır. Bu sonuçtan görüleceği gibi, cetvellerin ve saatlerin ether içinden devimden doğan değişimlerinden ötürü, Lorentz kuramı *tüm biçimdeş olarak devinen gözlemcilerin ether içindeki devimlerinin hızından bağımsız olarak ışığa aynı C hızını yükleyeceğini* imler. Bu yolda ışık hızını ölçmenin tikel yollarının nasıl laboratuar gönderme çatısının hızına bağımlı olmayan değerler verdiğini gösteren 6, 7 ve 8'inci Bölümlerin sonuçlarını genelleştiririz.

X

Lorentz Kuramına Göre Uzay-Zaman Ölçümlerinin Anlamlarına Özünlü İkircim

6, 7, 8 ve 9'uncu Bölümler Lorentz kuramına göre ışık hızının her ölçümünün laboratuarın ether ile göreli hızından bağımsız olarak aynı sonuca götüreceğini gösterir. Gene de, bu kuram tüm yasalarını ve denklemlerini etherde dinginlikte olmaları gereken cetveller ve saatler tarafından ölçülen "doğru" uzaklık ve zamanların terimlerinde formüle eder. Öyleyse, gerçekte ne demek olduklarını bilebilmek için, ölçülen uzunlukların düzeltilmesi, aletlerin deviminin etkisinin dikkate alınması gerekir. Ama eğer Lorentz kuramı doğru ise, gözlenen uzaklık ve zamanları böyle düzeltmenin hiçbir yolu olanaklı değildir. "Doğru" uzaklıklar ve zamanlar öyleyse özünlü olarak ikircimlidir, çünkü edimsel ölçüm ve deneylerde bulunabilecek tüm gözlemlenebilir ilişkilerin dışına düşerler.

O zaman etherde dinginlikte olan cetveller ve saatler tarafından ölçülmesi gereken bu "doğru" uzaklık ve zamanların durumu ne olabilir? Eğer etherin ne olursa olsun başka herhangi bir bağımsız kanıt temelinde tanıtlanmamış salt varsayımsal bir kendilik olduğunu anımsarsak, problem daha da keskinleşir. Bu "doğru" uzaklık ve zamanların gerçekten de herhangi bir anlamı var mıdır? Yoksa olgusal nesneleri ilgilendiren vargılar çıkarabilmek için geometrik teoremleri uygularken zaman zaman imgelemlerimizde çizdiğimiz kesikli çizgiler gibi salt kavramsal buluşlar olmasınlar?

Problem yalnızca Lorentz'in kuramının çözümlemesinin bir sonucu olarak doğan salt kuramsal bir problem değildir. O denli de olgu düzlemindeki bir problemdir. Çünkü Michelson-Morley deneyi edimsel

olarak Lorentz kuramının söyledikleri ile uyum içinde Yeryüzünün hızından bağımsız olan sonuçlar verdi. Lorentz'in zamanında, Fizeau dişli-çark deneyi kuramı sınamak için gereken sağınlık düzeyinde yerine getirilebilir değildi, ama o günden bu yana ışık atışlarının zamanlaması için gereken sağınlığı sağlayan elektriksel yöntemler geliştirilmiştir, ve bu deneyler ışığın Yeryüzünün hızından bağımsız olan ölçülü bir hızını da verir. Bundan başka, daha sonra göreceğimiz gibi, Einstein'ın tüm gözlemcilerin aynı ışık hızı ölçümünü elde edecekleri sayıltısı üzerine dayanan görelilik kuramı değişik türlerden birçok deneyde doğru olarak bulunmuştur, öyle ki bu temel sayıltı gerçekten de çok iyi doğrulanmış olarak görülebilir. Buna göre, eldeki deneysel kanıtın irdelemesi Lorentz kuramının yol açtığı problem ile tam olarak aynı probleme götürür: "Ether gönderme çatısı ile göreli 'doğru' uzaklıklar ve 'zamanlar' nasıl ölçülebilir?"

Bu bağıntıda belki de geçerken belirtmeye değer ki, iki nokta arasında ışığın yayılma hızının *doğrudan* bir ölçümü henüz yapılmamıştır, ve bunun nedeni büyük olasılıkla değişik yerlerdeki saatleri elektriksel sinyaller kullanmaksızın senkronize etmede yatan teknik güçlüklerdir. Şimdi bulunabilen yeni ve çok sağın sezyum saatleri ile belki de çok yakında böyle bir deney yapmak olanaklı olacaktır. Ama bu nokta üzerine başka deneylerde daha şimdiden biriken olağanüstü kanıt miktarı göz önüne alındığında, öyle görünür ki bu deneyin de varsayımsal ether ile göreli laboratuarın hızına bağımlı olmayacağını düşünmek için çok az neden vardır.

XI

Uzay ve Zaman Kavramlarının Gönderme Çatılarının Terimlerinde Çözümlemesi

Önceki bölümde hem kuramsal olarak hem de deneysel olarak eski uzay ve zaman kavramlarının kritik bir probleme götürdüğünü gördük. Bu problem fiziğin olduğu gibi gündelik, uygulayımsal ve işleyimsel etkinliklerimizin büyük bir bölümünün de temelinde yatan kavramların köküne gitmesi anlamında çok derindir. Bu problem yeni bir türdendir. Çünkü güçlük Lorentz kuramının deney ile anlaşmaması değildi. Tersine, kuram Lorentz'in zamanında gözlemlenmiş olan herşey ile uyum içinde idi, ve gerçekte o günden bu yana gözlemlenmiş olan herşey ile de uyum içindedir. Problem dahaçok Lorentz kuramına giren temel kavramların, e.d. etherde dinginlikte olacak aygıt tarafından ölçüldüğü gibi "doğru" zaman ve "doğru" uzay koordinatlarının gerçekte *bütünüyle ikircinli* olmaları idi. Çünkü, gördüğümüz gibi, laboratuar aletlerinin okumalarını "doğru" koordinatların ve zamanların değerlerini verecek bir yolda düzeltmek için ne olursa olsun hiçbir aracın bulunamayacağı Lorentz kuramının kendisinin temelinde çıkarsanmıştı. Aslında, "ether" koordinatlar çatısının bu özellikleri tüm gözlemlenebilir sonuçları geçersiz kıldığı için, *böyle bir çatının bulunduğunu kabul edip etmememiz hiçbir ayrım yaratmaz.*

Hiç kuşkusuz, eğer etherin kimi özelliklerinin gözlemlenebilir olduğu bulunsaydı, o zaman etherin daha öte bir fiziksel imlemi olurdu. Ama eğer özelliklerinden *hiç biri* gözlemlenebilir değilse, yalnızca Newton mekaniğinde temel olan saltık uzay ve zaman kavramları için bir taşıyıcı olarak hizmet etme gibi bir rolü olduğu söylenebilir. Dahası, bu kavramları gözlemlenen olgulara ayarlama girişimi gördüğümüz gibi

öyle bir karışıklık durumuna götürmüştü ki, bundan böyle temel uzay ve zaman kavramlarımız ile ne denmek istendiği ya da onlarla ne yapılabileceği açık değildi.

Açıkça görünür ki burada gerekli olan şey bu probleme yeni bir yaklaşımdır, ve bunun başlangıcı özünlü olarak sınanamaz ether önsavından değil, ama olanaklı olduğu ölçüde bilinen olgulardan ve hiç olmazsa *ilkede* deney tarafından sınanabilir daha öte temel önsavlardan yapılmalıdır. Böyle bir yaklaşımın temelini atmaya yardım edebilmek için, uzay ve zaman koordinatlarını kullanışımıza dayanak olan ana olguların bir bölümünün geçici bir çözümlemesini vererek başlayacağız.

Bu problemde ilk ilgili olgu uzay ve zaman koordinatlarının nesnelerin ve olayların fizikçinin kendisi tarafından kurulan belli türlerdeki ölçme aletleri ile *ilişkilerinden* oluşmasıdır. Örneğin, birşeyin uzunluğunu ölçmek için yeterince katı bir cetvel kullanabiliriz, ve cetvel üzerinde nesnemizin iki ucunun karşılık düştüğü sayıları bulabiliriz (yaklaşık olarak). Ya da almaşık olarak, uçlarını bir teleskop ile gözleyebilir ve ışığın doğru çizgilerde yol aldığını varsayarak nesnenin uçları altına düşen açıyı ölçebiliriz. Bilinen uzaklıklar tarafından ayrılan çeşitli noktalardan yapılan gözlemlerden sonra, Euklides geometrisinin yardımıyla nesnemizin uzunluğunu hesaplayabiliriz. Zamana gelince, hiç kuşkusuz bir sarkaçtan ya da uyumlu bir salınaçtan oluşan bir tür saate gereksiniriz. Almaşık olarak, örneğin Yeryüzünün çevrim dönemi ya da belli radyoaktif elementlerin yarı-ömrü gibi doğal bir süreci de bir saat olarak kullanabiliriz.

Hiç kuşkusuz, yalnızca yalıtılmış bireysel ölçümlerin sonuçlarını irdelemek yeterli değildir. Ölçümlerimizin gerçek imlemi uzaklık ve zaman aralıklarını birçok yolda, birçok değişik alet ve yordam türü ile gözlemleyebilmemiz, ve gene de eşdeğer sonuçlar elde etmemiz olgusundan doğar. Örneğin, değişik cetveller ile yapılan uzunluk ölçümleri cetvelin özelliği olan belli bir deneysel sağınlık yoksunluğu ya da yanılgı sınırları içerisinde aynı değeri verir. Ve eğer ışık ışınlarının yardımıyla üçgenleme yöntemini ya da daha da başka bir yöntemi kullanırsak, bir nesnenin uzunluğu için özsel olarak aynı değeri elde ederiz. Bu sonuç açık ya da giderek sıradan bile görünebilir, ama yalnızca bilim için değil ama yaşamlarımızın bütünü için de olağanüstü önemi olan bir *olgudur*. Örneğin birbiri ile değiştirilebilir parçaları olan makineler yapma olanağı bir parçanın büyüklüğünü belirleyen ölçümlerin bir başka parçanın büyüklüğünü belirleyen ölçümler tarafından verilen uzunluğa eşdeğer bir uzunluk verecek olması ve böylece birinci parçanın ikinciye uyabilmesi olgusuna bağlıdır. Kolayca içinde hiçbir yarı-katı nesnenin olmadığı bir dünya *imgeleyebiliriz*, ki bu durumda böyle ölçümlerin hiç kuşkusuz hemen hemen hiçbir anlamı olmayacaktır. Ama gerçekte edimsel olarak içinde yaşadığımız dünyada böyle ölçümleri bütünüyle anlamlı kılan yarı-katı nesnelerin yeterince geniş bir dağılımı vardır.

Zamanı ölçmede de problem çok benzerdir. Böyle ölçümlerin her zamanki imlemlerini taşıyabilmeleri için değişik alet ve yordamların aynı olaylar kümesine uygulandıklarında eşdeğer sonuçlar verebilmesi zorunludur. Örneğin, iyi saatleri olan iki insan belli bir yerde buluşmak üzere anlaşabilir; ve eğer saatlerinin okumalarını izleyecek olurlarsa, buluşma yerine birinin ötekini beklemesinin gerekmeyeceği bir yolda ulaşmaları anlamında *bir olgu olarak* buluşacaklardır. Benzer olarak, kişi belli bir saatte kalkması belirlenmiş bir treni yakalama konusunda saatini izleyebilir, ve genellikle treni edimsel olarak yakalar. Ya da doğal fenomenler açısından, kişi gün batımından önce belli bir miktar iş yapmayı tasarlayabilir, ve eğer iş düzenini saate göre düzenlemeyi başarırsa, yapılması karanlık tarafından olanaksız kılınıncaya dek işi edimsel olarak yerine getirebilir. Hem toplum ile hem de doğal fenomenler ile ilişki içinde yaşamlarımızı düzenleme ve örgütlemede ortak bir zaman ölçüsünün önemini vurgulamak pek zorunlu olmayacaktır.

Uzayın özelliklerindeki kurallılık ve düzen bir *gönderme çatısı* kavramında özetlenebilir. Bu değişik ölçümlerin sonuçlarının ortak bir dilde anlatımını olanaklı kılmak için ve böylece bu ölçümler arasındaki ilişkilerin belirlenmesini kolaylaştırmak için kurulan özsel olarak düzenli bir koordinatlar kafesidir. Örneğin, diyelim ki 1 cm aralıklarla düzenli olarak yerleştirilmiş koşut çizgilerin bir kümesini imgeleyebiliriz. Üç boyutlu uzay için bu türden benzer üç küme gerekir. Bunlar genellikle birbirlerine dik olarak alınsalar da, zaman zaman birbirlerine dik olmayan çizgi dizgeleri de kullanılır. Bir nokta, *P*, üç *x, y, z koordinatının* verilmesi ile belirlenir ve bunlar özde belli bir *O* kökeninden (ki elverişli olması açısından keyfi olarak seçilebilir) o noktaya ulaşabilmek için üç çizgi kümesinin her biri boyunca atılması gereken birim adımların sayısıdır. Eğer daha yüksek bir belirleme sağınlığına gereksiniyorsak, ilkede her zaman kafesi zorunlu incelik derecelerindeki aralıklara bölebiliriz.

Bu koordinatların edimsel olarak uzayda varolmadığını ama salt kavramsal bir buluş, uygunluğu dolayısıyla bizim tarafımızdan getirilen bir soyutlama olduğunu vurgulamak önemlidir. Gene de, belli bir nesnel içerikleri vardır, çünkü çeşitli ölçüm türlerini kullanan değişik gözlemcilerin bu koordinatlar üzerinde anlaşmaları olanaklıdır. Bu anlaşma olanağı birçok kuşak boyunca yapılan sayısız denemenin sonuçlarını temsil eden olağanüstü önemli bir *olgudur*. (Anımsayalım ki yarı-katı hiçbir nesnenin olmadığı bir dünyada, şimdiki ölçme yordamlarımız böyle dizgesel bir anlaşma yaratamazdı.)

Hiç kuşkusuz bir koordinat çatısının seçiminde belli bir keyfilik vardır, öyle ki, örneğin bir gözlemci dikey-olmayan bir gönderme çatısı seçerken, bir başkası dikey bir gönderme çatısı seçebilir. Her ikisi de dikey gönderme çatıları seçse bile, bunlar için *ayrı kökenler* gibi *ayrı yönelimler* de olabilir. Ama burada önemli olan olgu değişik koordinat dizgeleri arasında bir dönüşümler kümesinin varolmasıdır ki, bize belirli herhangi bir dizgedeki *aynı noktanın* koordinatlarının bir başka dizgedekiler ile

nasıl ilişkili olduğunu bilme olanağını verir. Örneğin, bir P noktasının koordinatları A dizgesinde x_0, y_0, z_0 olsun. A'ya koşut olan, ama kökeni bileşenleri a, b, c olan bir vektör kadar yer değiştirmiş B dizgesinde aynı noktanın koordinatları

$$x = x_0 - a \qquad y = y_0 - b \qquad z = z_0 - c \tag{11–1}$$

olacaktır. Benzer olarak, eğer aynı kökenli iki koordinat çatımız varsa, ve B çatısı Z ekseni çevresinde A ile göreli olarak bir θ açısı kadar dönmüşse, bu iki gönderme çatısındaki aynı P noktasının koordinatları şu denklemler yoluyla ilişkilidir:

$$x = x_0\cos\theta + y_0\sin\theta \qquad y = y_0\cos\theta - x_0\sin\theta \tag{11–2}$$

Bu her iki dönüşümde de kolayca görülür ki P ve Q gibi herhangi iki nokta arasındaki uzaklık bir *değişimsiz fonksiyondur;* e.d., uzaklık bu dönüşümler tarafından ilişkilendirilen her koordinat çatısında bağımsız değişkenlerinin aynı fonksiyonudur (yerdeğişimi ve çevrim). Tanıtlamayı (ki özsel olarak Pisagor teoremi üzerine dayanır) vermemiz değil ama yalnızca sonucu bildirmemiz yeterlidir.

Eğer x_1, y_1, z_1 ve x_2, y_2, z_2 B gönderme çatısında sırasıyla P ve Q noktalarının koordinatları ise, ve bu arada (x'_1, y'_1, z'_1) ve (x'_2, y'_2, z'_2) A gönderme çatısında karşılık düşen noktaların koordinatını temsil ediyorsa, şunu elde ederiz:

$$(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2 = (x'_1 - x'_2)^2 + (y'_1 - y'_2)^2 + (z'_1 - z'_2)^2 = \text{değişmez} = \text{değişimsiz fonksiyon} \tag{11–3}$$

Hiç kuşkusuz dikey ve dikey-olmayan koordinat dizgeleri arasındaki dönüşümleri bulmak da olanaklıdır, ama açıktır ki dikey-olmayan gönderme çatılarında (11–3) denklemi bundan böyle değişimsiz bir fonksiyon vermez. Bununla birlikte, daha genel değişimsiz fonksiyonlar vardır ki, dikey gönderme çatıları için olduğu gibi dikey-olmayanlar için de geçerlidir. Bunlar Einstein'ın *genel* görelilik kuramı için önemlidir. Ama Einstein'ın burada tartıştığımız özel görelilik kuramı için yalnızca dikey gönderme çatılarını tartışmak yeterlidir, ve dolayısıyla bundan sonra dikey-olmayan uzaysal koordinat dizgelerine göndermede bulunmayacağız.

Ayrıca bir *zaman gönderme çatısı* da vardır. Ama Newton mekaniği söz konusu olduğu sürece, bu uzay gönderme çatısından çok daha yalındır. Bir saatin yardımıyla, hiç kuşkusuz ilkede herhangi bir tikel problemde gerektiği denli ince olan düzenli zaman aralıkları işaretlenebilir. Verili bir olay ile keyfi bir köken arasındaki böyle aralıkların sayısı (uygun olarak seçilen bir ölçekte) o olayın zaman koordinatına eşittir. Ama zaman açısından, özde zaman koordinatları için yalnızca bir dizgenin olduğu kabul edilir (bir ölçek değişiminin ve kökeni istenen herhangi bir kıpıya kaydıran bir yer değişiminin olanağı dışında). Bu doğru bir

saat tarafından ölçüldüğü gibi *t* zaman koordinatı ile herhangi bir olay verildiğinde, tümü de ilk sözü edilen olay ile eş-bulunuşlu olayların gizil olarak sonsuz bir kümesinin varolduğunu imler. Bir sonuç olarak, zaman ölçümü için uygun yordamları yerine getiren hiçbir gözlemci bu olaylar kümesinden herhangi bir olayın bir başkasından daha önce ya da daha sonra olduğunu bulamayacaktır. Eğer durum buysa, o zaman aynı *t* zaman koordinatını tüm bu olaylara yüklemek ve *eşzamanlı* olduklarını söylemek anlamlı olacaktır.

Hiç kuşkusuz, bu sayıltı hem sıradan deneyimde hem de bilimsel gözlemlerde olağanüstü geniş bir gözlemler erimi aracılığıyla sınanmıştır. Böylece gerçekte değişik yerlerdeki insanların şeyleri saatleri ile ölçülen aynı zamanda yapmak üzere anlaşmaları olağandır. O zaman, değişik yerlerde olsalar bile, eğer birbirlerinin görüş çizgisinde iseler birbirlerini tasarlanan eylemi yerine getirirken görebilirler. Ya da bu olmuyorsa, birbirlerine neyin yer aldığını bildirmek için radyo ya da elektrik sinyallerini kullanabilirler (örneğin dünyanın karşıt yanlarındaki iki insan saatleri Greenwich ortalama zamanında aynı okumayı gösterince birbirlerini aramak üzere anlaşabilir, ve gerçekten de, içlerinden biri aradığı zaman ötekinin dinlemeye hazır beklediğini keşfeder).

Hiç kuşkusuz, tüm bu deneyim ışığın, radyo dalgalarının vb. hızının çok büyük olduğu, ve dolayısıyla olağan zaman ve uzaklık ölçeğinde bir sinyalin bir yerden ötekine ulaşması için gereken zamanın gözardı edilebileceği olgusuna bağımlıdır. Bu sonsuz bir ışık hızını varsaymaya eşdeğerdir. Sonlu ışık hızı dikkate alındığında, gerçekte daha sonra tartışılacak olan yeni sorunlar ortaya çıkar. Ama şimdilik hiç kuşkusuz görelilik-öncesi fiziğin kavramları ile ilgileniyoruz, ve amacımız on dokuzuncu yüzyılın sonunda gelişmiş olanlardan daha duru uzay ve zaman kavramlarına ulaşabilmek için dikkate alınması gereken düşüncelerin temelini durulaştırmaktır.

XII

"Sağ-Duyu" Uzay ve Zaman Kavramları

Önceki bölümde fizikte belli uzay ve zaman kavramlarının geliştirildiğini gördük. Bu kavramlar birçok kuşak boyunca süren çok büyük bir deneyim, gözlem ve deney birikimi üzerine kuruludur. Bunlar yetkin herhangi bir gözlemci tarafından olanaklı birçok değişik yolda gözlenen ve ölçülen çok geniş bir edimsel olaylar ve nesneler türlülüğü ile benzersiz (e.d. bire-bir) karşılık düşme ilişkisi içine koyulabilme yeteneğinde oldukları bulunan uygun x, y, z ve t koordinatları ile belirlenen bir uzay-ve-zaman *gönderme çatısı* düşüncesinde toparlanır. Böylece gönderme çatıları ile bağıntılı koordinatları kullanarak, *olguların* fizikte kullanılan uzay ve zaman kavramlarının arkasındaki özsel içeriğini kavrarız. Bununla birlikte, gerçekte bu olguların çok geniş bir fenomenler türlülüğü ve çeşitli ölçme aygıtları arasında gözlenen *ilişkilerin* çok büyük bir bütünlüğü üzerine dayandığı görülür, ve bu ilişkiler kümesinin bütünü böyle gönderme çatılarının terimlerinde sağın olarak betimlenebilme yeteneğindeki bir yapı içerisine düzenlenebilir, örgütlenebilir ve tümlenebilir.

Eğer tüm olgular yukarıda betimlenen türde gözlemlenen ilişkilerden oluşuyorsa, o zaman Newton'ın özsel olarak kendiliğinden varolan ve akan bir töz gibi olması gereken ve tüm ilişkilerden bağımsız saltık bir uzay ve zaman düşüncesinin kökeni nedir? Bu açıktır ki birincil olarak deney ve gözlemden değil, ama dahaçok, Bölüm 2'de belirtildiği gibi, büyük olasılıkla eski Aristotelesci uzay kavramlarının belli yanlarının değişkiye uğramış bir biçimde sürdürülmesinden gelir. Ve eğer Aristoteles'in idealarını nereden bulduğunu sorarsak, yanıtı uzakta aramak gerekmeyecektir. Çünkü Aristoteles yalnızca Antik Yunanlıların zamanından önce özde büyük olasılıkla herkes tarafından çağlar boyunca kabul edilen ve bugün bizim de "sağ-duyu" uzay görüşümüzü

veren bir küme kavramı dizgesel, örgütlü ve biraz kurgul bir biçimde anlatıyordu. Bu görüşte, uzay bir tür kap olarak görülür ki, içinde her bir şeyin belli bir yeri, büyüklüğü ve biçimi vardır. Böylece uzay sonuçta "tözselleştirilir" ve bir saltık olarak alınır.

Problemi Ek bölümünde biraz ayrıntılı olarak tartışacağız ve orada yukarıda betimlenen uzay kavramının her insanın yaşamının erken yıllarında oluşturulduğunu ve öğrenildiğini gösteren çok sayıda kanıt olduğunu göstereceğiz. O günden bu yana bu kavramın kullanımı bir alışkanlık olmuş, sıradan dilin yapısı tarafından daha da pekiştirilmiştir, öyle bir yolda ki onu yadsımayı ya da onunla çelişmeyi amaçlayan birşey düşünmek ya da söylemek bile çok güçtür. Hiç kuşkusuz böyle bir yordam belki de büyük ölçüde kaçınılmazdır, ve burada bizim niyetimiz gündelik yaşamda "sağ-duyu" uzay kavramları olmaksızın yapabileceğimizi ileri sürmek değildir. Bununla birlikte, çok ciddi bir problem doğar, çünkü genellikle uzay kavramımızı öğrenme ve onu alışkanlık yoluyla ve dilimizin yapısı yoluyla pekiştirme gibi bir sürecin işlediğinin bilincinde değilizdir. Bir sonuç olarak, onu zorunlu ve kaçınılmaz olarak, başka türlü olamayacak birşey olarak düşünme eğilimindeyizdir. O zaman bilimciler böyle düşünceleri kuramlarının içerisine alır ve bu kuramlar şimdi görünürde bu kavramların kaçınılmazlığının bilimsel doğrulanışını sağlar. Ama işin gerçeği bu kavramların uzun bir sürecin sonucu olduğudur—bir süreç ki, gerçekte, bizi onların herşeyin tüm *olanaklı* varoluş bağlam ve kipinde kaçınılmaz olduğuna inanmaya koşullandırır ve onları yalnızca yeni inceleme alanlarına girdiğimiz zaman geçici ve dolayısıyla vazgeçilebilir önsavlar olarak görmemizin önüne geçer. Bu tür koşullandırmadan belki de modern fiziğin görelilik ve quantum kuramı gibi yeni alanlarda yüz yüze kalması gereken başlıca problem olan şey doğmuştur—e.d. çocukluktan bu yana ötelerine gidilmesinin tasarlanamaz göründüğü bir yolda alışkanlıkla kullanılan eski kavramlar ile çarpışan yeni kavramları kabul etmenin güçlüğü.

Zaman kavramına gelince, koşullandırma problemi belki de uzay kavramı için olduğundan daha da ciddidir. Gerçekten de, tıpkı nesnelerin gerçek yer, büyüklük ve biçimini temsil ettiğini düşündüğümüz bir saltık uzayı kavrama alışkanlığında olmamız gibi, ayrıca çocukluk yıllarından başlayarak hem doğadaki hem de kendi "iç" ruhbilimsel deneyimlerimizdeki süreç akışını benzersiz ve saltık bir zaman ardışıklığı içinde düzenlenmiş olarak kavramsallaştırma alışkanlığındayızdır. Bu düzenlemenin temeli açıktır. Herhangi bir kıpıda görsel, işitsel, dokunsal vb. algılarımızda eş-bulunuşlu olan birşey olarak çevremizin bütününü görürüz. Algıladığımız şeylerin bu bütünlüğünü deneyimlediğimiz kıpıda, ona "şimdi" olarak göndermede bulunuruz. Işık hızı çok büyük olduğu için, ışığın bize ulaşmak için gereksindiği zamanı en azından yakın çevremizdeki nesneler söz konusu olduğu sürece hiç kuşkusuz gözardı edebiliriz, ve bu arada pekçok amaç için giderek sesin bize ulaşması için gereken zaman bile gözardı edilebilir.

Belli bir sınırlı alan içerisinde, olaylara yukarıda betimlenen kavramlara örtük olduğu gibi tekil, evrensel, iyi-tanımlı bir zaman düzeni yüklemenin gerçekten de olanaklı olduğunu bulduk. Bu alanın içerisinde, değişik aletler ve yordamlar kullanan birçok değişik gözlemcinin tümü de, uygun bir deneysel yanılgının sınırları içerisinde, hangi olayların eş-bulunuşlu, hangilerinin başkalarından önce ve hangilerinin sonra olduğu konusunda anlaşır. Başka bir deyişle, benzersiz bir geçmiş, şimdi ve geleceğin *zamandizinsel düzeni* sayıltısı için olgularda geçerli bir temel vardır, ve bu nerede yer aldıklarına ve nasıl gözlemlendiklerine bakılmaksızın her tür olay için aynıdır.

Uzay düşüncelerimiz durumunda olduğu gibi sıradan zaman kavramımız açısından da sorun hiç kuşkusuz bu kavramın *bütünüyle yanlış* olması değildir. Eğer olsaydı, o zaman hiç kimse ona sarılmayı deneyecek denli aptal olmazdı. Güçlük kavramın sınırlı bir alanda yeterli iken, göreceğimiz gibi, bu alanın ötesine genişletildiğinde uygunsuz olmasından doğar. Ama bu yeterlilik alanının çocukluk evresi ile başlamak üzere olağanüstü büyük bir sıradan deneyim miktarı içermesi olgusunun bir sonucu olarak, ve bu deneyimin dilin yapısına alınmış olması nedeniyle, sıradan zaman kavramımızı kaçınılmaz görme alışkanlığının dışına çıkmayı çok güç buluruz. Gerçekten de, bu kaçınılmazlık duygusu öyle bir düzeye dek genişler ki, dünyayı yalnızca bu zaman kavramı yoluyla algılarız. Sonuçta, şeylerin bütün bir evren için aynı olan benzersiz ve saltık bir zaman düzeninde olduğundan başka türlü olabileceğini imgelemeyi edimsel olarak başaramıyor görünürüz. Gene de, birazdan göreceğimiz gibi, görelilik kuramı tam olarak böyle bir kavramın irdelememiz gereken şey olmasını ister. Bunu ilkin yalnızca soyut olarak ve kavramsal olarak yapmamız gerekir, üstelik "sağ-duyu" kavramlarımız ile çelişse bile. Belki de daha sonra, böyle düşünceler ile tanıştığımız zaman, onları daha "sezgisel" bir yolda kavramaya başlayabiliriz.

O zaman, toparlarsak, saltık uzay ve zaman kavramları yalnızca gündelik yaşamın alanında doğan ve şimdi alışkısal olmalarına karşın bir zamanlar çocukken öğrendiğimiz belli algılama, tasarlama, deneyimleme vb. kiplerinin sürdürülmesi üzerine dayanır. Bu alışkanlıklar kendi uygun alanlarında yeterli görünür, ama böyle kavramların kaçınılmaz olduğu düşüncesini destekleyen iyi-doğrulanmış *olgular* yoktur. Aslında, gördüğümüz gibi, uzay ve zaman koordinatlarını ilgilendiren fiziksel olgular yalnızca gözlemlenen fenomenler ve aletler arasındaki ilişki kümelerinden oluşur ve bunlarda ne olursa olsun hiçbir saltık uzay ve zaman görülmüş değildir. Bununla birlikte, Ek bölümünde göstereceğimiz gibi, sıradan deneyimdeki algıyı ilgilendiren *olgular* bu deneyimin de her zaman ilişkiler ile ilgili olduğunu, ve burada da gerçekte hiçbir saltık uzay ve zaman olmadığını gösterir. Bu demektir ki hem fizik dünyasında *hem de* gündelik yaşantı dünyasında, eğer daha geniş alanlarda nelerin keşfedildiğini anlayacaksak, saltık uzay ve zaman kavramlarını bir yana atmak zorunlu olabilir.

XIII

Einstein'ın Uzay ve Zaman Kavramlarına Giriş

Işığın değişik noktalar arasında yayılması için geçen zamanın gözardı edilemeyeceği bir alana gelir gelmez, sıradan uzay ve zaman düşünceleri sınırlı çerçeveleri içerisinde çözülemeyecek güçlük ve problemlere götürmeye başlar. Daha önce örneğin Lorentz kuramının incelemesinde gördük ki, birlikte senkronize olarak işleyen eşdeğer saatler bir l_0 uzaklığı ile ayrıldığında, göreli zaman okumaları $(l_0 v/c^2)/\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ kadar değişecektir (burada v saatlerin hipotetik ether ile göreli hızıdır). Ama bu hızı ölçmenin hiçbir yolu olmadığı için, değişik yerlerde aynı zamanı gösteren saatlerin "gerçek anlamda" senkronize olmaktan edimsel olarak ne kadar saptığını hiçbir zaman sağın olarak *bilemeyiz*. Sıradan deneyimde böyle etkiler hiç kuşkusuz öylesine küçüktür ki gözardı edilebilirler. Ama çok sağın ölçümlerde belirleyici bir rol oynadıklarını gördük.

Dolaysız deneyim düzleminde bile, çok büyük uzaklıklar söz konusu olduğunda, eşzamanlılık ile denmek istenen şeydeki ikircim önemli olacaktır. Örneğin astronotlar Mars'a ulaşmayı başardıkları zaman doğacak olan radyo-televizyon iletişimi sorununu irdeleyelim. Varsayalım ki Yeryüzündeki bir insan Mars'taki arkadaşına "şimdi" ne olduğunu sorsun. Sinyallerin Mars'a ulaşması ve Mars'tan Yeryüzüne dönmesi için zaman gerektiğine göre, yanıt 10 dakika ya da daha uzun bir süreden daha önce alınamayacaktır. Yanıt alındığında, bilgi "şimdi" yer alan şey ile değil ama *geçmişte* sinyal Mars'ı terk ederken yer alan şey ile ilgili olacaktır. Böylece "şimdi" Mars'ta neyin yer almakta olduğunu bilemeyeceğiz.

Belki de en azından bu olayın geçmişte ne zaman *yer aldığını* bilmeyi isteyebiliriz. Bunu yapmak için, astronot tarafından taşınan bir saatin televizyon imgesine bakabiliriz—bir saat ki laboratuardaki bir başkası ile eşdeğerli olarak yapılmış ve bu nedenle uzay gemisinin ivmesi altında bile zamanı doğru gösteriyor olsun. Ama, Lorentz kuramına göre, bu saat zamanı Yeryüzündeki bir saatten ayrı olarak ölçecek ve Yeryüzündeki bir saat ile senkronizasyondan $(l_0 v/c^2)/\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ kadar sapacaktır (burada l_0 Mars'a uzaklık ve v saatin ether ile göreli hızıdır). v bilinmediğine göre, Mars'taki bu olayın "doğru" zamanı bizim için ikircimli olacaktır.

Belki de Mars'taki olayın zamanını düzeltmek için uzay gemisindeki bir saatin televizyon imgesine başvurmak yerine ışığın bize ulaşması için gereken zaman aralığı için doğrudan "düzeltme" yapmayı deneyebiliriz. Ama doğru düzeltmeyi yapmak için, Lorentz kuramına göre, Yeryüzünün $\Delta t = l/(c-v)$ düzeltmesini verecek olan "doğru" l uzaklığını ve bir de ether ile *göreli* "doğru" v hızını bilmemiz gerekecektir. Bir kez daha, Mars'taki olayın ne zaman yer aldığını tam olarak saptama girişiminde özsel olarak aynı ikircim ile karşı karşıya kalırız.

O zaman açıktır ki eşzamanlılığın anlamının ne olduğuna ilişkin sıradan düşüncelerimiz doğdukları alanın ötesinde çok uzağa genişletildiğinde ikircimli olurlar. Bölüm 11'de gördüğümüz gibi, bu düşünceler verili bir kıpıda duyularımız yoluyla algıladığımız şey ile eş-bulunuşlu herşeyin edimsel olarak aynı zamanda, "şimdi" yer almakta olduğu biçimindeki sezgisel kavram üzerine dayanır. Ama örneğin Mars'ta yer almakta olanlar gibi uzak olaylara gelir gelmez görürüz ki elimizdeki en hızlı iletişim araçlarını (radyo dalgaları ya da ışık) kullansak bile, örneğin televizyon imgesinde algıladığımız şey aynı zamanda yer alıyor *değildir,* ama olay ne denli uzaksa o denli erken yer almıştır. Aslında, şimdi teleskoplarda görülebilir olan ışığın yıldızlar tarafından bir milyar yıl kadar önce yayılmış olduğunu biliyoruz. Böylece açıktır ki, büyük uzaklıklar söz konusu olduğunda, duyu algılarımız için eş-bulunuş bundan böyle eş-zamanlılık ile aynı şey değildir. Ve daha kısa uzaklıkları ilgilendiren sağın ölçümlerde, verili bir alette eş-bulunuşlu olarak saptanan olayların (örneğin, verili bir fotoğrafta görünenlerin) zorunlu olarak eş-zamanlı da olmaması anlamında, özsel olarak aynı vargı çıkar.

Eş-bulunuşun ve eş-zamanlılığın yukarıda betimlenen eş-değersizliğinden daha da önemli olan şey, gördüğümüz gibi, verili bir olayı geçmişte iyi-tanımlı bir zamana ikircimsiz olarak yüklemek için elimizde hiçbir yolun olmaması olgusudur. O zaman bundan şu çıkar ki, "şimdi" ile denmek istenen şeye ilişkin sezgisel kavramımızın bütünü, tıpkı geçmiş ve geleceğe ilişkin olan kavramlarımız gibi, bundan böyle açıkça edimsel olarak gözlemleyebileceğimiz, algılayabileceğimiz, deneyimleyebileceğimiz ya da ölçebileceğimiz şeye göndermede bulunmaz.

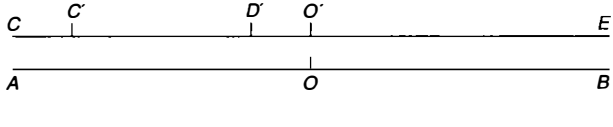
Sezgisel zaman kavramlarının kendi asıl alanlarının ötesine uygulanmasında gelişen bu derin ve temel ikircim karşısında yaklaşımımız, daha

önce belirttiğimiz gibi, bu bütün düşünme kipini bir yana atmak ve yeniden başlamak olmalıdır. Ancak bilenemez olanı, e.d. özünlü olarak gözlemlenemez bir ether ile göreli kendi hızımızı bilseydik gözlemlenebilecek olan sayıltılı bir eşzamanlılık kıpısına göndermede bulunmanın yerine, araştırmamıza olanaklı olduğu ölçüde durumun olguları üzerine ve ilkede sınanabilir önsavlar üzerine dayanarak başlıyoruz. Olgular nelerdir? Daha önce Bölüm 10'da ilgili olguların bir yanını, e.d. fiziksel olayların uzay ve zaman koordinatlarına ilişkin tüm edimsel bilgimizin, en azından ilkede, fiziksel fenomenlerin uygun ölçme aletleri ile gözlemlenebilir *ilişkileri* üzerine dayalı olması noktasını tartıştık. Öyleyse, temel uzay ve zaman kavramlarımızdaki ikircimden kaçınabilmek için, fiziksel yasaların bütün içeriğini böyle ilişkilerin terimlerinde anlatmak zorunludur, özünlü olarak ikircimli özellikleri ile özünlü olarak sınanamaz bir etherin terimlerinde değil.

Şimdi özünde Einstein'ın başlangıç noktası olan şeyi, e.d. yukarıda betimlenen türde edimsel olarak ölçülebilir koordinatların terimlerinde, biçimdeş olarak devinen (eş deyişle, ivmelenmeyen) tüm gözlemcilerin, eğer her biri eşdeğer yapılı aletler kullanırsa ve kendi laboratuarının gönderme çatısı ile ilişki içinde eşdeğerli ölçme yordamlarını izlerse, kendi hızlarından bağımsız olarak aynı ışık hızı ölçümünü elde edecekleri görüşünü irdelemeye hazırız. (*Özel* görelilik kendini biçimdeş olarak devinen gözlemciler için geçerli ilişkilere sınırlar; ivmelenen gözlemcileri ele almak için, bu tartışmanın alanının ötesinde olan *genel* görelilik kuramının kullanılması gerekecektir.)

Einstein yukarıdaki sonucu Lorentz kuramından bir çıkarsama olarak değil, ama açıkça deneysel sınamalara konu olan ve gerçekte kendi kuramını ilk geliştirdiği sırada birçok deneyde doğrulanmış *temel bir önsav* olarak gördü (ki o günden bu yana çok daha geniş bir deneysel bağlamlar türlülüğü içinde doğrulanmış, ama henüz çürütülememiştir).

Bu önsavın fizikte eşzamanlılık kavramlarının anlamı açısından neyi imlediğini daha açıkça görebilmek için, Einstein yalın bir deney tasarladı. Bu, en azından şimdilik gerekli olanı yapmaya yetecek denli duyarlı aletlerimizin olmaması anlamında, yalnızca *imgelenen* bir deneydir. Gene de bu deney *ilkede* olanaklıdır; ve onun üzerine düşünmenin iki ayrı olayın eşzamanlılığını oluşturan şeye ilişkin daha eski kavramlardaki özsel güçlüğü açıkça ortaya çıkarma gibi bir üstünlüğü vardır.



Şekil 13–1

Bir demiryolu setinde bir v hızı ile devinen bir tren düşünelim. Varsayalım ki az çok trenin ortasına düşen O noktasında set üzerinde durağan

bir gözlemci bulunuyor olsun. Bu gözlemcinin A ve B noktalarında yerleşen ve set ile ilişki içinde iyi senkronize edilmiş saatleri olan iki meslektaşı vardır (Şekil 13–1). A ve B'nin set ile göreli olarak dinginlikte olan cetveller ile ölçüldüğü gibi O noktasından aynı l uzaklığında olduklarını varsayıyoruz. O'nun A ve B'deki meslektaşlarının ışık çakışları gönderdiklerini ve bu çakışların O'ya aynı zamanda ulaştığını kabul edelim. Açıktır ki birlikte görünmeleri olgusundan zorunlu olarak aynı zamanda doğdukları sonucu çıkmaz. Gerçekten de, O ışığın A'dan ve B'den ona ulaşması için gereken zamanı dikkate alarak düzeltme yapmalıdır. Uzaklıklar aynı olduğu için, ve ışık hızı her iki yönde de aynı olduğu için, bu durumda O çakışların aynı zamanda yer aldığını hesaplayacaktır.

Şimdi devinen trende bulunan bir O' gözlemcisini irdeleyelim. Varsayalım ki O A ve B'den gelen iki çakışı alırken O' gözlemcisi O gözlemcisinin karşısında bulunsun. Hiç kuşkusuz, O' gözlemcisi de iki çakışı aynı zamanda görecektir. Ama o da çakışların yola çıktıkları zamanları hesaplamalıdır. Bunu yapmak için, tren ile birlikte devinen *kendi* cetvelleri tarafından gösterildiği gibi kendisi ve ışık kaynakları arasındaki uzaklığı ölçmelidir. Bunu trenin değişik bölümlerindeki meslektaşlarının yardımıyla uygun olarak yapabilir.

Varsayalım ki bu meslektaşlardan biri A noktasında çakış gönderildiği zaman orada bulunuyor olsun. Bu gözlemci sonra A'nın onu geçtiği kıpıda A'ya karşılık düşen nokta için C okumasını cetveli üzerine kaydetmeye geçecektir. Şimdi, ışık C'den O''ne (ya da eşdeğer olarak A dan O'ya) geçer, ve bunu belli bir zaman içinde yapar. Süreci bir set gözlemcisinin bakış açısından irdelersek, görürüz ki çakış ilk kez gönderilirken daha sonra O'nun karşısında olacak olan başlangıçtaki tren gözlemcisi henüz O''ne ulaşmış olmayacak, ama yalnızca bir D' noktasına, O' noktasının solundaki bir noktaya erişmiş olacak, öyle ki ışık A'dan O'ya (ya da almaşık olarak C den O''ne) giderken $D'O'$ uzaklığı geçilecektir. Bu gözlemci O''ne ulaştığı ve çakışı gördüğü zaman, C noktası, set gözlemcisine göre, C' noktasına devinmiş olacaktır—bir uzaklık ki $D'O'$ uzaklığına eşittir. Tren gözlemcisi O' kendini dinginlikte gördüğü için, kendisi ve ışık çakışının kökeni arasındaki uzaklığı kaydetmeye geçtiği zaman bu devimi dikkate almaz. Ama uzaklığı $C'O'$ olarak belirler ki set gözlemcisi tarafından belirlenen AO uzaklığından daha küçüktür. Benzer bir yolda, ışığın E'den O''ne gitmesi için bir EO' uzaklığı belirleyecektir ki, set gözlemcisi tarafından belirlenen BO uzaklığından daha büyüktür.

Şimdi, eğer Newton mekaniği geçerli olsaydı, iki gözlemcinin uzaklıkları belirlemesindeki bu ayrım giderilirdi, çünkü trendeki gözlemci C'den gelen çakış için daha düşük bir ışık hızı $(c - v)$, ve E'den gelen çakış için daha yüksek bir hız $(c + v)$ verirdi. Sonuç olarak, setteki gözlemci ile (ve ayrıca "sağ-duyu"nun bizi beklemeye götürdüğü şey ile) anlaşma içinde olur, C ve E'deki çakışların aynı zamanda gönderildiğini hesaplardı.

Bununla birlikte, tüm gözlemciler ışığa aynı hızı vermelidir, çünkü gördüğümüz gibi, deneyler durumun böyle olduğunu gösterir. Öyleyse trendeki gözlemci bundan böyle iki çakışın eşzamanlı olduğunu kabul edemez, çünkü bunlar değişik uzaklıkları aynı hız ile geçer.

Bu eski düşünce ile önemli bir kopuş anlamına gelir, çünkü değişik gözlemciler uzakta olan olaylar için 'aynı zaman'ın ne olduğu konusunda anlaşma içinde değildir. Bununla birlikte, vurgulamak gerek ki uzak olaylar için eşzamanlılığın saptanması yalnızca *dolaylı bir çıkarsama* üzerine, bir hesaplamanın sonucu üzerine dayanır, ki bir ışık (ya da radyo) sinyalinin gözlenen noktadan gözlemin edimsel olarak yer aldığı noktaya geçişi için gerekli olan zaman için düzeltmeyi anlatır. Eşzamanlılık öyleyse bundan böyle gündelik deneyimimizdeki eş-bulunuşa karşılık düşen *dolaysız bir olgu* değildir. Çünkü şimdi, büyük bir düzeye dek, bir sinyalin geçiş zamanını dikkate alma gibi salt *uylaşımsal* bir araç üzerine bağımlı görünür. Bu uylaşım "sağ-duyumuza" doğal ve kaçınılmaz görünür, ama tüm gözlemciler için aynı olan ikircimsiz sonuçlara ancak hızların toplanması üzerine Galileo yasasını iyi bir yaklaşıklık düzeyine indirgeyen koşullar altında götürür. Işık hızı bundan böyle gerçekte sonsuz olarak görülemeyince, o zaman fiziğin deneysel olguları sonuçların gözlemcinin aletlerinin hızı üzerine bağımlı olacağını açığa çıkarır.

Yukarıdaki tartışmadan şu çıkar ki eşzamanlılık olayların ölçme aygıtının devim durumundan bağımsız bir imlem taşıyan *saltık* bir niteliği değildir. Tersine, eşzamanlılığın anlamı gözlem aletleri ile *göreli* olarak anlaşılmalıdır, şu anlamda ki, ayrı hızlarda devinen eşdeğerli olarak yapılmış aletler ile eşdeğerli işlemleri yerine getiren gözlemciler ayrı olay kümelerine eşzamanlılık özelliğini yükleyeceklerdir.

Eğer bir olaydan bir başkasına aynı kıpıda ulaşan bir sinyal elde etmenin bir yolu olsaydı, o zaman yayılma zamanı için hiçbir düzeltme gerekmez, ve eşzamanlılığın yukarıda betimlenen göreliliğinin doğması gerekmezdi. Ama ışıktan daha hızlı gittiği *bilinen* hiçbir sinyal yoktur. Bundan başka, daha sonra göreceğimiz gibi, görelilik kuramı *böyle bir sinyalin olanaklı olmadığını* imler, şu anlamda ki, böyle bir sinyalin olanaklı olduğu sayıltısı görelilik kuramı ile bir çelişkiye götürür. Öyleyse, en azından şimdi bildiğimiz kadarıyla, ve şimdiki fizik kuramlarının söz konusu olması ölçüsünde, uzak olayların zamanlarını hesaplayabilmek için her zaman bir düzeltme yapılmalıdır—bir düzeltme ki, ışık sinyallerinin değişik noktalar arasında yayılması için gereken zamanın dikkate alınması üzerine dayanan uylaşımsal bir yolda, ve tüm gözlemcilerin ışık için aynı hızı ölçmeleri olgusunu kullanarak yapılmalıdır. Bu koşullar altında, eşzamanlılığın göreliliği kaçınılmaz bir zorunluk olacaktır.

Bir kez eşzamanlılığın gözlemcinin hızı ile göreli olduğunu kabul edersek, bundan dolaysızca uzunluk ve zaman aralığı ölçümlerinin karşılık düşen bir göreliliğinin olması gerektiği sonucu çıkar. Bunu uzunluk açısından tanıtlamak için, biri demiryolu setinde duran ve öteki tren ile birlikte devinen iki gözlemci örneğimize geri dönelim. Varsayalım ki set-

teki gözlemci A'dan B'ye bir cetvel yerleştirsin ve A ve B'ye ışık çakışları yoluyla senkronize edilmiş ve $t' = t - (l/c)$ kuralı tarafından düzeltilmiş saatler yerleştirsin. Trendeki gözlemci kendi devinen gönderme çatısında aynı işi yerine getirir, karşılık düşen bir cetveli ve saatleri yerleştirir, ve bunlar ışık çakışları yoluyla senkronize edilmiş ve $t_0^A = t_0 - (l_0^A/c)$ ve $t_0^B = t_0 - (l_0^B/c)$ formülleri tarafından düzeltilmiştir (burada l_0^A ve l_0^B sırasıyla tren ile birlikte devinen cetveller tarafından ölçüldüğü gibi O'dan A'ya ve O'dan B'ye uzaklıklardır).

Şimdi, bir çubuk bir gözlemci ile ilişki içinde devinmediği sürece, gözlemci çubuğun uzunluğunu zaman ölçümlerine bakmaksızın ölçebilir. Böylece uçlardan birini, A, "şimdi" ve öteki ucu, B, "biraz sonra" olarak alabilir, ve bu elde ettiği sonuçları etkilemeyecektir. Ama eğer bir çubuk bir gözlemci ile ilişki içinde deviniyorsa, gözlemci çubuğun uzunluklarını çubuğun uç noktaları arasındaki uzaklık olarak *aynı zamanda tanımlar.* (Böylece, eğer setteki gözlemci trenin arka ucunun konumunu bir kıpıda ve önünü bir saat sonra ölçmüşse, trene 60 mil ya da daha büyük bir uzunluk yükleyebilir, ki açıkça saçma bir sonuçtur.)

Şimdi, O'nun A ve B'deki meslektaşlarının ışık çakışlarını sette dinginlikte olan *saatleri tarafından ölçüldüğü gibi* aynı zamanda gönderdiklerini, ve bunun tam olarak trenin uçlarının sırasıyla A ve B noktalarını geçiş kıpısı olduğunu varsayalım. Benzer olarak varsayalım ki trenin iki ucunda A' ve B' noktalarında karşılık düşen devinen gözlemciler *kendi* saatleri aynı okumayı gösterirken ışık çakışları göndersinler. Eşzamanlılık tartışmamıza göre bundan şu çıkar ki, setteki gözlemciler devinen gözlemciler tarafından eşzamanlı olduğu söylenen çakışların setteki gözlemciler tarafından hesaplandığı gibi edimsel olarak ayrı zamanlarda yer aldığı vargısını çıkaracaktır. Evrik olarak, trendeki gözlemciler setteki gözlemciler tarafından eşzamanlı olduğu söylenen çakışların edimsel olarak ayrı zamanlarda yer aldığını hesaplayacaktır.

Diyelim ki trendeki gözlemci tarafından eşzamanlı olarak görülen çakışlar arasında setteki gözlemci için bir δt zaman ayrımı olsun. Bu zamanda tren bir $v\delta t$ uzaklığı boyunca devinir. Setteki gözlemci buna göre trendeki gözlemcinin aslında trenin "doğru" uzunluğunu ölçmediği, ama trenin δt aralığı sırasındaki devimine bağlı yerdeğişiminin etkilerini eklediği vargısını çıkarır. Bu nedenle ayrı bir sonuca ulaşması şaşırtıcı değildir. Benzer bir yolda, trendeki gözlemci setteki gözlemcinin trenlerin "doğru" uzunluğunu ölçmediği vargısını çıkarır, öyle ki o da iki gözlemcinin sonuçları arasındaki ayrıma şaşırmaz. Ama biz *her iki* gözlemcinin sonuçlarının çözümlemesinde daha çoğunu görebiliriz, e.d. iki gözlemcinin eşzamanlılığı belirlemedeki uylaşımları aynı anlamı taşımadığı için, bundan uzunluğu tanımlama uylaşımları açısından benzer bir sorunun olduğunu anlayabiliriz. Başka bir deyişle, her bir gözlemcinin eşdeğerli olarak yapılmış aletler kullanmakla *kendi* gönderme çatısı ile ilişki içinde aynı işlemi yerine getirmesine karşın, birşeyin

uzunluğu üzerine konuşurlarken *bir olgu olarak* ikisi *aynı olaylar kümesine* göndermede bulunmaz.

Zaman aralıklarının ölçümünde benzer bir sorun doğar. Bunları görmek için, yine örneğimizde olduğu gibi trenin ön ucunun A'yı ve arka ucunun B'yi O'nun A ve B'deki saatleri tarafından aynı zaman olarak gösterilen kıpıda geçtiğini düşünelim. (Bu olgu örneğin O'nun A ve B'deki meslektaşları tarafından saptanabilir.) Şimdi, trende olan ve trenin ön ucu A'yı geçerken t'_1 ve B'yi geçerken t'_2 zamanını gösteren bir saat düşünelim. Trendeki bir gözlemci o zaman trenin ön ucunun A'dan B'ye gitmesi için bir $\Delta t' = t'_2 - t'_1$ zaman aralığının gerekli olduğunu söyleyecektir. Öte yandan, setteki gözlemciler bunun olması için gereken zamanı kendilerinin A ve B'deki "senkronize edilmiş" saatleri aracılığıyla ölçecektir. Eğer t_A trenin ön ucunun A'daki bir gözlemci tarafından bu noktayı geçerken görüldüğü zaman olsaydı, ve t_B karşılık düşen bir gözlemcinin onu B'yi geçerken gördüğü zaman olsaydı, o zaman setteki gözlemciler zaman aralığının $\Delta t = t_B - t_A$ olduğu vargısını çıkarırdı. Bununla birlikte, gördüğümüz gibi, trendeki gözlemciler A ve B'deki saatleri senkronize *olmayan* saatler olarak görecek ve buna göre setteki gözlemcilerin trenin A'dan B'ye gitmesi için gereken "doğru" zaman aralığını düzgün olarak ölçmediğini ileri süreceklerdir. Ve benzer bir uslamlama ile setteki gözlemciler trendekilerin benzer olarak "doğru" zaman aralığını düzgün olarak ölçmediğini ileri süreceklerdir. Ama, uzunluk ölçümleri durumunda olduğu gibi, açıktır ki nerede devinen saatler söz konusu olsa, eşzamanlılığın göreliliği zaman aralıklarının tanımının belli bir *uylaşımsal* yanının da olduğunu imler; bir sonuç olarak zaman aralıklarının saltık bir imlemi yoktur, ama tersine, anlamları zamanın ölçülmesine yardım eden aletlerin hızı ile görelidir.

O zaman görürüz ki *eşzamanlılık, uzunluk ve zaman aralığının* tanımlarının yakın bir karşılıklı ilişkisi vardır, ve tüm gözlemcilerin ışık için aynı hız ölçümünü elde etmeleri *olgusu* tüm bu üç kavramın saltıklar olarak değil ama tersine bir gönderme çatısı ile ilişki içinde bir anlam taşıyor olarak görülmeleri gerektiğini imler.

XIV

Einstein'ın Bakış Açısında Lorentz Dönüşümü

Önceki bölümde betimlendiği gibi uzay ve zaman koordinatlarının özsel olarak ilişkisel karakteri yalnızca uzay koordinatlarının ölçümünde daha şimdiden tanıdık olan benzer bir özellik ile karşılaştırılabilir. Böyle bir ölçümde her bir gözlemci kendi aygıtını değişik bir yöne çevirebilir ve buna göre tüm gözlemciler aynı noktanın x koordinatı için aynı değeri elde etmez. Başka bir deyişle, x koordinatı bir noktanın "saltık" bir özelliği değildir, ama o nokta ve belli bir gönderme çatısı arasındaki bir *ilişkiyi* belirler. Benzer olarak, ayrı hızlarda devinen gözlemciler verili bir olayın "zaman koordinatları" için aynı değerleri elde etmez, ve buna göre bu koordinat da bir gönderme çatısının belli bir ilişkisine karşılık düşmelidir, söz konusu olayın "saltık" bir özelliğine değil.

Şimdi, uzay geometrisinde, koordinatların anlamındaki bu "göreliliğe" karşın, örneğin ötelemeler (11–1) ve çevrimler (11–2) gibi belli dönüşümlerin olduğu bulunmuştur ki, bunlar ölçümler ayrı yönelimli ve özekli gönderme çatıları temelinde yerine getirilse bile ne zaman aynı noktayı ele aldığımızı bilmemizi sağlar. Birlikte alınan uzay ve zaman koordinatlarında benzer dönüşümler var mıdır?

Bölüm 2'de gördüğümüz gibi Newton mekaniğinde bir Galileo dönüşümü, denklem (2–3), vardır ki, ölçümler birbiri açısından devinen gönderme çatılarında yerine getirildiği zaman aynı olayın uzay ve zaman koordinatlarını ilişkilendirmemizi sağlar. Bununla birlikte, gördüğümüz gibi, Galileo hızların toplamı yasası ışık hızının gözlemleme donatımının hızı ile değişmesi gerektiğini imler. Bu tahmin edilen değişme *olguya aykırı* olduğu için, açıktır ki Galileo dönüşümü doğru bir dönüşüm olamaz (ışık hızının aşağı yukarı sonsuz olarak görülebileceği koşullar altında geçerli bir yaklaşıklık olarak alınması dışında).

Aramakta olduğumuz şey bir olayın verili bir A gönderme çatısında ölçüldükleri gibi x, y, z uzay koordinatları ve t zaman koordinatı kümesi ile, A gönderme çatısı ile ilişki içinde devinen bir başka B çatısında ölçüldükleri gibi aynı olaya ait karşılık düşen bir x', y', z', t' kümesi arasındaki bir dönüşümdür. Uslamlamayı yalınlaştırmak için, varsayalım ki B'nin A ile göreli hızı z yönünde v olsun (keyfi yönlere genelleştirmenin bütünüyle kolay olduğu görülecektir).

Bu dönüşüm ölçülen ışık hızının biçimdeş olarak devinen tüm gönderme çatılarında aynı c değeri olduğu olgusu ile bağdaşabilir olmalıdır. Olguyu anlatmak için, her iki çatı için uzay ve zaman koordinatlarımızın O kökenini verili bir ışık ışınının yayılmasına karşılık düşen olay olarak seçelim. O zaman, A çatısında, ışık ışınının bir t zamanı sonra

$$c^2t^2 - x^2 - y^2 - z^2 = 0 \qquad (14\text{–}1)$$

tarafından verilen küresel bir yüzeye ulaşmış olması gerekirken, aynı ışık ışını B çatısında da

$$c^2t'^2 - x'^2 - y'^2 - z'^2 = 0 \qquad (14\text{–}2)$$

tarafından verilen küresel yüzeye ulaşmış olacaktır. Buna göre bir ışık dalgasının küresel yayılımını anlatan yukarıdaki ilişkiyi değişimsiz bırakan bir dönüşüme gereksiniriz.

Bölüm 9'da daha önce ışık hızını değişimsiz bırakan bir dönüşümün, e.d. *Lorentz dönüşümünün* varolduğunu gösterdik. Açıktır ki buna *uzaydaki keyfi bir çevrimi* ekleyebiliriz, çünkü bu çevrim $x^2 + y^2 + z^2 = x'^2 + y'^2 + z'^2$ fonksiyonunu değişimsiz bırakırken, zamanı da değişimsiz bırakır ($t' = t$), ve sonuç olarak $c^2t^2 - x^2 - y^2 - z^2$ fonksiyonu da değişimsiz bırakılır. Bunun yanısıra, örneğin uzayda ve zamanda $x = -x'$, $t = -t'$ vb. gibi yansımalar vardır ki, açıkça bunlar da ışık hızını değişimsiz bırakır.

O zaman doğal olarak ışık hızını değişimsiz bırakan başka dönüşümlerin olup olmadığı sorusu doğar. Yanıt şudur: Eğer dönüşümün hiçbir tekillik noktasının olmaması (böylece her yerde düzenli ve sürekli olması) gibi fiziksel olarak usauygun bir istemde bulunursak, o zaman Lorentz dönüşümlerinin artı çevrimlerin artı yansımaların olanaklı biricik dönüşümler olduğu gösterilebilir.

Einstein'ın yaklaşımında Lorentz dönüşümünün hipotetik bir ether içinden devinmekte olan gözlem aletlerindeki değişimlerin bir sonucu olarak çıkarsanmadığı ve bundan tüm gözlemcilerin kendi hızlarından bağımsız olarak aynı ölçülen hızı elde edeceğinin çıkarsandığı çok fazla vurgulanamaz. Tersine, önceki bölümlerde daha şimdiden belirttiğimiz gibi, onun yaklaşımında, *edimsel olarak ölçülen* ışık hızının değişimsizliği gibi deneysel olarak iyi doğrulanmış önsav ile başlanır. Bu hiçbir açıklama gerektirmez (örneğin, varsayımsal bir etherde aletlerin değişimlerinin terimlerinde), ama yalnızca daha öte çalışmadaki temel başlangıç noktamızdır (tıpkı Newton mekaniğinde iyi doğrulanmış bir

önsav olarak Newton yasalarından, ve elektrodinamikte Faraday'ın ve Ampère'in yasaları ile başlamamız gibi). Bu başlangıç noktası ile, Einstein yukarıda belirtilen tarzda Lorentz dönüşümünün temel başlangıç önsavımız ile bağdaşabilir olan fiziksel olarak kabul edilebilir biricik dönüşüm olduğunu göstermeye geçer.

Şimdi Lorentz dönüşümünü (ki B dizgesindeki koordinatları A dizgesindeki koordinatların terimlerinde anlatır) bir kez daha yazalım [bkz. denklemler (9–1), (9–2), (9–3) ve (9–5)]

$$z' = \frac{z - vt}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \qquad t' = \frac{t - vz/c^2}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}}$$
$$x' = x \qquad y' = y \tag{14–3}$$

Evrik dönüşüm (ki A dizgesindeki koordinatları B dizgesindeki koordinatların terimlerinde anlatır) şudur:

$$z = \frac{z' + v't'}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \qquad t = \frac{t' + vz/c^2}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}}$$
$$x = x' \qquad y = y' \tag{14–4}$$

Dikkat edelim ki evrik dönüşüm v'nin $-v$ ile değiştirilmesi yoluyla kökensel dönüşümden elde edilir. Bu hiç kuşkusuz beklenecektir, çünkü eğer B'nin A ile göreli hızı v ise, A'nın B ile göreli hızı $-v$ olur. Öyleyse, B'yi A'ya dönüştürürken gerçekte edimsel hızın A'yı B'ye dönüştürürken kullandığımız *aynı fonksiyonunu* kullanırız.

Yine dikkat edelim ki $v/c \to 0$ olurken (ki $c \to \infty$ olması ile eşdeğerdir) Lorentz dönüşümü

$$z' = z - vt \qquad t' = t$$
$$x' = x \qquad y' = y \tag{14–5}$$

biçimine indirgenir ki, tam olarak Galileo dönüşümüdür. Bu yolda, eski uzay ve zaman kavramlarının v/c çok büyük olmadığı zaman uygulanabilir özel sınırlayıcı durumlar olarak Einstein'ın kavramlarında kesin olarak kapsandığını görürüz.

Açıktır ki Lorentz dönüşümü önceki bölümde betimlendiği gibi eşzamanlılık, uzunluk ve zaman aralıklarının göreliliğini imler. Örneğin, eğer B gözlemcisinin tümü için $t' = 0$ alınmak üzere eşzamanlı olarak betimlediği bir olaylar kümesini irdelersek, o zaman denklem (14–4)'e göre A gözlemcisi bu olaylar için $t = vz/c^2$ olduğunu söyleyecektir; böyle olaylar açıktır ki eşzamanlı değildir. Benzer olarak, eğer A gözlemcisi z yönünde v hızı ile devinen bir nesnenin uzunluğunu ölçüyorsa, iki ucu kendi gönderme çatısından ölçüldüğü gibi aynı zamanda (diyelim ki $t = 0$) irdelemelidir. Denklem (14–3)'ten $z' = z/\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ ya da $z = \sqrt{1-(v^2/c^2)}z'$ elde edilir. Burada v'yi nesnenin hızı olarak seçmiş olduğumuza göre, açıktır ki z' nesnenin dinginlikte

olduğu bir gönderme çatısındaki uzunluğudur, ve böylece Lorentz kasılmasını elde etmiş oluruz

Saatlerin hızlarındaki değişimi incelemek için, B'yi içinde saatin dinginlikte (diyelim ki $z' = 0$'da) olduğu gönderme çatısı olarak görerek başlayalım. Dönemi t' olsun. O zaman (14–4)'e göre $t = t' / \sqrt{1 - (v^2 / c^2)}$ denklemini elde ederiz ki, tam olarak devinen saatlerin yavaşlaması için formüldür.

B ve A arasındaki dönüşüm v yerine $-v$ geçirmek üzere A ve B arasındaki ile aynı dönüşüm olduğu için, bundan şu çıkar ki A'nın B'nin aletlerinin edimsel olarak ölçülmekte olan şey ile ilişkisinin değişimi üzerine çıkardığı vargılar A'nın aletleri ile ilişki içinde B tarafından da çıkarılacaktır. Böylece, örneğin A B'nin cetvellerini kasılmış olarak gördüğünü söylerken, B ise A'nın cetvellerini kasılmış olarak gördüğünü söyler.

Her birinin ötekinin cetvellerinde aynı türde bir kasılma görmesi nasıl olanaklıdır? Eş deyişle, eğer A B'nin cetvellerinin daha kısa olduğunu söylüyorsa, niçin B A'nın cetvellerinin daha uzun olduğunu söylemez? Yanıt, daha önce gördüğümüz gibi, A ve B'nin bir nesnenin uzunluğunu ölçerken aynı *olaylar* kümesine göndermede bulunmadıklarıdır. Eşzamanlılık üzerinde anlaşmadıkları için, A B'nin ölçümlerini yaptığı sırada cetvelin devinmesine izin verdiğini ve böylece gerçek uzunluktan başka birşeyi ölçtüğünü söyler; ama B de A hakkında aynı şeyi söyler.

Belki de bu durum henüz birbirinin görüş çizgisinde kalan iki insan, A ve B, ayrılırken yer alan şeye benzetilebilir. A B küçülüyor gibi görünüyor derken, B A küçülüyor gibi görünüyor der. Niçin B A büyüyor gibi görünüyor demez? Yanıt her birinin *ayrı birşeyi*, e.d. dünyanın *kendi* retinası üzerindeki imgesini görmekte olduğudur. A'nın B'nin retinası üzerindeki imgesinin B'nin A'nın retinası üzerindeki imgesinin küçülmesi ile aynı zamanda küçülmesi olgusunda hiçbir paradoks yoktur. Benzer olarak, B A'nın cetveline bir kasılma yüklerken A B'nin cetveline kasılma yükleyecektir demede de hiçbir paradoks yoktur, çünkü her biri bir nesnenin uzunluğundan söz ederken *ayrı birşeye* göndermede bulunmaktadır.

XV

Hızların Toplamı

Daha önce gördüğümüz gibi z yönünde v hızı ile devinen bir B gönderme çatısındaki x', y', z', t' koordinatları ve x, y, z, t koordinatları ile dinginlikteki bir A gönderme çatısı arasındaki Galileo dönüşümü şudur:

$$z' = z - vt \qquad x = x' \qquad y = y' \qquad t = t' \tag{15–1}$$

Eğer A gönderme çatısındaki bir gözlemci X yönünde u hızı ile devinen bir nesneyi gözlüyorsa, bu nesnenin $z = ut + z_0$ ile verilen çizgide devindiğini görecektir. Yalınlık uğruna, $z_0 = 0$ olduğunu varsayalım. O zaman $u = z/t$ olacaktır. Gözlemci B tarafından neyin görüldüğünü hesaplamak için Galileo dönüşümünü uygulayarak şunu elde ederiz:

$$z' = z - vt = (u - v)t = (u - v)t' \tag{15–2}$$

Buna göre gözlemci B devinen nesneye şu hızı yükleyecektir:

$$w = z'/t' = u - v \tag{15–3}$$

Bu hiç kuşkusuz iyi bilinen Galileo hızların toplamı yasasıdır, ve denklem (2–3)'te verilen bu yasayı Einstein'ın yaklaşımında yapılan şey ile karşılaştırmayı kolaylaştırabilmek için daha ayrıntıda bir kez daha türettik.

Eğer A ve B arasındaki doğru dönüşüm Galileo dönüşümü olmaktan çok Lorentz dönüşümü ise, o zaman B'nin koordinatlarını A'nın koordinatlarının terimlerinde veren (14–3) anlatımı ile başlarız:

$$z' = \frac{z - vt}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}} \tag{15–4}$$

Galileo dönüşümü durumunda olduğu gibi, devinen nesnenin A'nın gönderme çatısında anlatılan izleğinin denklemi olarak $z = ut$ yazılır. Bu şunu verir:

$$z' = \frac{(u - v)t}{\sqrt{1 - (u^2 / c^2)}} \tag{15–5}$$

(14–3)'ten şunları da elde ederiz:

$$t' = \frac{t - (vz / c^2)}{\sqrt{1 - (v^2 / c^2)}} = \frac{t[1 - (uv / c^2)]}{\sqrt{1 - (u^2 / c^2)}} \tag{15–6}$$

ve

$$w = \frac{z'}{t'} = \frac{u - v}{1 - (uv / c^2)} \tag{15–7}$$

Bu hızların toplamı için relativistik yasadır. Dikkat edin ki v/c sıfıra yaklaşırken, Galileo yasasına, $w = u - v$, yaklaşır. Bununla birlikte, daha genel olarak, açıktır ki Galileo yasasından bütünüyle ayrıdır. Gerçekten de, kolayca görüleceği gibi, c'den daha küçük hızları toplayarak herhangi bir yolda c hızını aşmak olanaksızdır. Bunu tanıtlamak için, A ve B arasında değil ama B ve A arasında dönüşüm yaptığımız bir durumu irdeleyelim. (14–3) ve (14–4) denklemlerinden görüldüğü gibi, bu yalnızca v yerine $-v$ geçirilmesini gerektirir. Biraz düşünürsek görürüz ki hızların toplamı üzerine uslamlamamız o zaman

$$W = \frac{u + v}{1 + (uv / c^2)} \tag{15–8}$$

sonucunu verecektir, ki burada simge olarak büyük bir harfi (15–8)'i (15–7)'den ayırdetmek için kullanıyoruz.

O zaman açıktır ki eğer u ve v pozitif ise, $W < u + v$ olur, öyle ki eğer hızı u olan bir nesneyi alırsak, ve sonra onu hızı $-v$ olan bir gönderme çatısından gözlersek, nesne "sağ-duyu"nun bizi beklemeye götürdüğü şeyi, e.d. iki hızın toplamını kazanmayacaktır. v/c bire yaklaşırken, yeni etkiler giderek daha da açıklık kazanır. Bunun neye götürdüğünü görmek için şu niceliği irdeleyelim:

$$c^2 - w^2 = c^2 - \frac{(u + v)^2}{[1 + (uv / c^2)]^2} = \frac{c^2[1 - (u^2 / c^2)][1 - (v^2 / c^2)]}{[1 + (uv / c^2)]^2} \tag{15–9}$$

$u^2/c^2 < 1$, $v^2/c^2 < 1$ olduğu sürece, $c^2 - w^2$ pozitif ve $|w| < c$ olur. Öyleyse, c'den küçük iki hızı toplayarak ışık hızına eşit bir hız elde etmek olanaksızdır. (Örneğin, $u = 0{,}9c$, $v = 0{,}9c$ olsun; o zaman $w/c = 1{,}8/(1 + 0{,}9 \times 0{,}9) = 1{,}8/1{,}81 < 1$.) Öte yandan, eğer $u = c$ ise, $w = (v + c)/[1 + (v/c)] = c$, öyle ki ışık hızının yeni gönderme çatısında eski gönderme çatısında olan ile aynı olduğunu doğrularız.

Yukarıdaki tartışma ışık hızının özdeksel nesnelerin yaklaşabileceği ama hiçbir zaman ulaşamayacağı ya da aşamayacağı bir sınır olduğunu imler. Buna göre, bir uzay gemisi düşünelim. Varsayalım ki bir dizi püskürme ateşleniyor ve böylelikle *uzay gemisinin gönderme çatısında* her bir

püskürme hızda bir Δv değişimine götürüyor olsun. Hızların toplamı için relativistik yasadan çıkan sonuca göre, gemi bu yolda ne denli uzun bir süre boyunca ivmelenmeyi sürdürürse sürdürsün, hiçbir zaman ne denli büyük olursa olsun herhangi bir sonlu yakıt miktarını yakarak ışık hızına ulaşamaz. (Daha sonraki bir bölümde değişik bir yöntem ile aynı sonuca ulaşacağız ve geminin kütlesi sonsuza yaklaşacağı için ve böylece ışık hızına yaklaştıkça onu ivmelendirmek giderek güçleşeceği için geminin ışık hızına ulaşamayacağını göstereceğiz.)

Şimdiye dek hızların toplamını yalnızca koşut oldukları durum açısından tartıştık ve bu nedenle problem tek-boyutlu duruma indirgendi. Ama sonuçları üç boyuta genişletmek çok kolaydır. Böylece varsayalım ki A gönderme çatısındaki bir nesnenin u_x, u_y, u_z bileşenleri ile bir hızı olsun ve buna göre izleği $x = u_x t$, $y = u_y t$, $z = u_z t$ tarafından verilsin. Varsayalım ki bir v hızı ile (ki, eğer koordinat dizgelerimiz uygun yönelimli ise, her zaman z yönünde alınabilir) bir Lorentz dönüşümü yapılsın. O zaman şunları elde ederiz:

$$u'_z = \frac{z'}{t'} = \frac{u_z - v}{1 - (u_z v / c^2)}$$

$$u'_x = \frac{x'}{t'} = \frac{\sqrt{1-(u^2/c^2)}\,u_x}{1-(u_z v/c^2)} \qquad u'_y = \frac{y'}{t'} = \frac{\sqrt{1-(v^2/c^2)}\,u_y}{1-(u_z v/c^2)} \tag{15–10}$$

Vektör notasyonunda bu uygun olarak şöyle yazılabilir:

$$\mathbf{u}' = \frac{\sqrt{1-(v^2/c^2)}}{1-(\mathbf{u}\cdot\mathbf{v}/c^2)}(\mathbf{u} - (\mathbf{u}\cdot\hat{v})\hat{v}) + \frac{(\mathbf{u}\cdot v)v}{1-(\mathbf{u}\cdot\mathbf{v}/c^2)} \tag{15–11}$$

ki burada $\hat{v}$ simgesi $\mathbf{v}$ yönünde bir birim vektördür.

Yine zaman zaman Lorentz dönüşümünün kendisini vektör notasyonunda yazmak uygundur. Bu şunu verir:

$$\mathbf{x}' = x - (\hat{v})\cdot\mathbf{x})\hat{v} + \frac{(\hat{v}\cdot\mathbf{x})\hat{v} - \mathbf{v}t}{\sqrt{1-(u^2/c^2)}}$$

$$t' = \frac{t - \mathbf{v}\cdot\mathbf{x}/c^2}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \tag{15–12}$$

XVI

Görelilik İlkesi

Aristoteles'in ve Ortaçağ Skolastiklerinin zamanından bu yana, fizik daha ilişkisel ya da "relativistik" bir bakış açısına doğru gelişme sürecindeydi. Böylece Kopernik uzayda özel yerlerin ve zamanda özel kıpıların olduğu, bunların saltık bir imlem taşıdığı ve dolayısıyla fizik yasalarının anlatımında onlara ayrıcalıklı konum için benzersiz bir rolün yüklenmesi gerektiği anlayışını ortadan kaldırmak için temeli attı. Hiç kuşkusuz bunun yanısıra uzayda hiçbir ayrıcalıklı "saltık yön" olmadığı, ve böylece koordinat dizgeleri nasıl çevrilirse çevrilsin fizik yasalarının aynı biçimi alacakları anlayışı da geldi. Bunu mekanik yasalarının bir Galileo dönüşümü durumunda değişimsiz olduğu ve böylece Newton'ın denklemlerinin gönderme çatısının hızından bağımsız olarak *aynı biçimdeki* ilişkileri anlattığı olgusunun keşfi izledi.

Işığın özellikleri ve elektrodinamik fenomenleri araştırıldığında, ilişkisel bir bakış açısına doğru bu gelişim güçlükler ve yeni problemler ile karşılaştı. Çünkü ışık sonlu bir c hızı taşıdığı için, Galileo dönüşümüne göre, ışığın bir gözlemci ile göreli hızının gözlemcinin gönderme çatısına bağımlı olması gerektiği açıktı. Benzer olarak, Maxwell'in hem ışığın ve daha başka elektromanyetik ışımanın yayılmasını hem de bunların polarizasyon özelliklerini açıklayan elektromanyetik alan denklemleri de bir Galileo dönüşümü altında açıkça biçimde değişimsiz olarak kabul edildi. Başka bir deyişle, içinde Maxwell'in denklemlerinin sağın olarak geçerli olduğu ve ışık hızının her yönde c olduğu ayrıcalıklı bir gönderme çatısı varolmalıydı. On dokuzuncu yüzyıl fizikçileri o zaman bir ether, öyle bir düşünce konutladılar ki, sonuçta niçin böyle ayrıcalıklı bir gönderme çatısının varolması gerektiğine ilişkin fiziksel bir neden önerme işlevini taşıyordu.

Ama sonraki deneyler—örneğin Michelson ve Morley deneyi—böyle bir ayrıcalıklı gönderme çatısını ilgilendiren yalın ether kuramının tahminlerini doğrulamayı başaramayınca, Lorentz bu olumsuz sonuçları ether içinden devinen gözlem aletlerindeki değişimlerin bir sonucu olarak açıklayan almaşık bir kuram önerdi. Ama bu kuram etherde

dinginlikte olan bir gönderme çatısı ile ilişkili "doğru" uzaklık ve zamanların sağın değerlerini ikircimli ve bilinemez kılan bir güçlüğe yol açtı.

Einstein'ın yaklaşımının özü ether önsavında somutlaştığı gibi saltık bir uzay ve zaman kavramını düşmek ve bunun yerine ilişkisel yaklaşımı elektro-dinamik fenomenlere ve elektromanyetik ışımanın yayılımına doğru genişletmekti. Newton'ın devim yasaları bir Galileo dönüşümü tarafından ilişkilendirilen her biçimdeş devimli gönderme çatısında *aynı ilişkileri* oluşturuyor olarak görülürken, ışığın gözlemlenen hızının değişimsizliği yasası bir Lorentz dönüşümü tarafından ilişkilendirilen her biçimdeş devimli gönderme çatısında *aynı ilişkiyi* oluşturuyor olarak görülür. Ve daha ayrıntılı bir incelemenin gösterdiği gibi, Maxwell'in denklemleri benzer olarak bir Lorentz dönüşümü altında benzer olarak değişimsizdir, çünkü bu dönüşüm tarafından ilişkilendirilen herhangi bir gönderme çatıları kümesinde anlatıldıklarında bu denklemler aynı biçimi alır (bunu Bölüm 21'de daha ayrıntılı olarak tartışacağız). Böylece bu noktaya dek Einstein yalnızca açık olgular olan şeyleri, elektromanyetik ışımanın elektromanyetik fenomenler ve belli aletler arasındaki uygun ilişkiler aracılığıyla nicel olarak gözlemlenmesi, elektrodinamik yasalarının böyle gözlemlenen nicelikler arasında *değişimsiz* ilişkiler imlediğinin deney yoluyla bilinmesi gibi olguları toparlıyordu. Elektrodinamik yasalarını (e.d. Maxwell'in denklemlerini) oluşturan ilişkilerin bu *değişimsizliği* ile denmek istenen şey bu yasaların elektromanyetik fenomenlerin gözlemlendiği yer ya da zamandan ve gönderme çatılarının (ki birbirleri ile yerdeğişimleri, çevrimler ve Lorentz dönüşümleri yoluyla ilişkilendirilirler) köken, yönelim ve hızından bağımsız olarak aynı biçimi aldığıdır.

Ama şimdi açıktır ki, eğer Newton'ın yasaları bir Galileo dönüşümü altında değişimsiz ise, bir Lorentz dönüşümü altında da değişimsiz olamazlar. Bunu ayrıntıda görmek için, ilkin bir başka A gönderme çatısı ile göreli olarak bir $\mathbf{v}$ hızında devinen verili bir B gönderme çatısında Newton'ın $m(du'/dt') = \mathbf{F}$ denklemlerini yazalım. Yalnızca z yönünde devinen bir parçacığı irdeliyoruz ki, bu yön ayrıca $\mathbf{v}$ hızının da yönü olarak alınır. O zaman eğer B ve A bir Lorentz dönüşümü yoluyla ilişkili ise, (15–7) denklemi $u' = (u - v)/[1 - (uv/c^2)]$ sonucunu verir. Dahası, dt' salt bir zaman aralığıdır, B çatısına gönderme ile ölçülür, ve parçacığın $dz' = u'\,dt'$ uzaklığını geçmek için gereksindiği zaman miktarıdır. (14–4) denklemine göre A gönderme çatısında ölçüldüğü gibi karşılık düşen dt aralığı şu olacaktır:

$$\frac{dt' + v dz'/c^2}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} = \frac{dt'[1+(u'v/c^2)]}{\sqrt{1-(v/c^2)}}$$

$$= \frac{dt'}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}}\left[\frac{1+(uv/c^2)-(v^2/c^2)}{1-(uv/c^2)}\right] = dt'\frac{\sqrt{1-(v^2/c^2)}}{1-(uv/c^2)} \qquad (16\text{–}1)$$

Newton'ın devim yasaları o zaman şöyle olur ($dv/dt = 0$ olduğuna dikkat ediyoruz):

$$\frac{m[1-(uv/c^2)]}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}}\frac{d}{dt}\left[\frac{(u-v)}{1-(uv/c^2)}\right] = \frac{m}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}}\frac{1-(uv/c^2)-(u^2/c^2)}{1-(uv/c^2)}\frac{du}{dt} = F \tag{16–2}$$

Açıktır ki Newton'ın devim yasalarının biçimi bir Lorentz dönüşümü altında değişimsiz *değildir*. Ve tartışılan deneysel olgular (ve ayrıca başkaları) koordinat çatıları arasındaki edimsel dönüşümün Galileo dönüşümü değil ama Lorentz dönüşümü olması gerektiğini, ve ayrıca mekanik yasalarının gerçekten de gönderme çatısının hızındaki bir değişim karşısında değişimsiz olduğunu açıkça gösterdiği için, bundan şu çıkar ki Newton'ın yasaları doğru mekanik yasaları *olamaz* (v/c sıfıra yaklaşırken sınırlayıcı durumda geçerli bir yaklaşıklık olarak olmanın dışında).

Einstein'ın bu probleme yaklaşımı yine tüm bu olguların anlamlarının dikkatli bir irdelemesi üzerine dayanıyordu. Şimdi, tanım gereği, bir fizik yasası kuraldışı olmaksızın geçerli olan bir ilişki olmalıdır. Eğer kuraldışılar varsa, bu durumda ne zaman kuraldışıların olacağını ve niçin beklenmeleri gerektiğini belirleyen daha geniş bir yasaya gereksiniriz; yoksa, yasaya hiçbir biçimde güvenemeyiz (örneğin, eğer keyfi yerlerde, zamanlarda ya da koşullarda geçerli olamıyorsa). Başka bir deyişle, *genel* bir fizik yasası yalnızca ilkede doğada gözlenebilir olan şeylerde belli *ilişkilerin* yere, zamana, gönderme çatılarına ya da altında sınanabilecekleri başka koşullara (örneğin sıcaklık, basınç vb.) bakılmaksızın değişimsiz olduklarının bir bildirimidir.

Şimdi, eğer değişik gönderme çatıları arasındaki doğru dönüşüm Lorentz dönüşümü ise, bundan mekanik yasaları gerçekte nedir sorusunun yeni bir ışıkta bir kez daha irdelenmesi gerekeceği sonucu çıkar. Bunu yaparken, Einstein'ın *görelilik ilkesi* dediği şeyin kılavuzluğu altında olmamız gerekecektir—bir ilke ki, bildirdiği şey özde yalnızca yukarıda söylenmiş olandır, e.d. fizik yasaları her gönderme çatısında aynı biçimdeki ilişkiler olma gerektirimini doyurmalıdır. Bu ilkenin iki biçimi vardır: Kısıtlı ya da *özel* görelilik biçimi, ki yalnızca hızları biçimdeş olan gönderme çatıları ile ilgilidir; ve *genel* görelilik biçimi, ki *her* gönderme çatısı ile ilgilidir (ki bunlar örneğin ivmelendirilebilir). Bu çalışmada hiç kuşkusuz kısıtlı görelilik ilkesi ile ilgileneceğiz.

Görelilik ilkesi boş uzay içinden devinen ve hiçbir penceresi ya da dışsal çevre ile başka herhangi bir ilişki yolu olmayan bir uzay gemisi irdelenerek daha sezgisel kavramların terimlerinde toparlanabilir. Görelilik ilkesine göre, *böyle bir geminin içerisinde* gözlenen fenomenlerin hiçbir biçimde geminin hızına bağımlı olmaması gerekir. Açıktır ki,

ether kuramı bu gerektirimi doyurmayacaktır, çünkü ona göre ışık ether ile göreli olarak c hızı ile devinecek, ve böylece ışığın gözlenen hızı geminin hızına bağımlı olacaktır. Daha genel olarak, tüm elektromanyetik fenomenler (ki Maxwell'in yalnızca ether kuramında geçerli olan denklemleri tarafından belirlenirler) geminin hızına göre değişecektir.

Görelilik ilkesinin olağanüstü büyük *bulgulatıcı değeri* olmuştur. Eş deyişle, yalnızca mekanik alanında değil ama ayrıca başka birçok problemde yeni yasa ve ilişkilerin önerilmesine yardımları ile vazgeçilmez olmuştur. Gerçekten de, ne zaman gönderme çatılarının sınırlı bir kümesinde geçerli olan bir ilişkiyi biliyorsak, görelilik ilkesi bizi çoğunlukla gönderme çatılarından bağımsız olarak geçerli olan ve bu daha geniş gönderme çatıları kümesinde daha öte deneyler tarafından sınanabilecek yeni bir içerik taşıyan bir genellemeye götürebilir. İzleyen birkaç bölümde görelilik ilkesinin bu bulgulatıcı değerini bir dizi özel uygulamada açıklayacağız.

XVII

Göreliliğin Kimi Uygulamaları

Görelilik ilkesinin anlamını daha somut bir biçimde ortaya koyabilmek için şimdi birkaç uygulama vererek bu ilkenin daha önce biraz daha sınırlı bağlamlarda bilinen ilişkilerin değişimsiz genellemesinden doğan yeni sonuçlara götürme gücünü nasıl kanıtladığını göreceğiz.

İlk olarak akan suda ışık hızının ölçümünü irdeleyeceğiz.[3] Uzun bir süre boyunca bu soru ön-relativistik fiziğin karşısına alması gereken anahtar bir soru idi ve gerçekte birçok ikircime ve bulanık noktaya götürdü—örneğin devinen suyun çevreleyen etheri kendisi ile birlikte ne düzeye dek sürüklediği gibi. (Daha öte bir tartışma için, bkz. C. C. Moller, *The Theory of Relativity.*)

Eğer dinginlikteki bir sıvı ortamda ışık için kırınım indeksi n ise, ışığın bu ortamdaki evre hızı $u_0 = c/n$ olur. Problem sıvı v hızı ile akarken u evre hızını hesaplamaktır. Açıktır ki görelilik ilkesi bu soruya daha öte herhangi bir sayıltıya gerek olmaksızın doğrudan ve ikircimsiz bir yanıt getirir. Çünkü, bu ilkeye göre, sıvının *dinginlikte olduğu gönderme çatısında* gözlenen özellikleri bu gönderme çatısının laboratuar ile göreli hızından bağımsız olmalıdır. Öyleyse, laboratuar gönderme çatısında neyin gözleneceğini hesaplayabilmek için yapmamız gereken tek şey sıvı ile birlikte devinen gönderme çatısında gözlemlenen şey üzerine bir Lorentz dönüşümü uygulamaktır. Böylece, eğer sıvının gönderme çatısında ışığın evre hızı c/n ise, hızların toplamı için relativistik yasayı kullanabiliriz [denklem (15–8)] (ki Lorentz dönüşümünden doğar). Bu şunu verir:

$$u = \frac{u_0 + v}{1 + (u_0 v / c^2)} = \frac{(c/n) + v}{1 + (v/cn)} \cong \left(\frac{c}{n} + v\right)\left(1 - \frac{v}{cn} + \frac{v^2}{c^2 n^2} + 0\right) \tag{17–1}$$

Suyun ışığı belli bir düzeye dek etkili olarak "sürüklediğini," ama suyun v tam hızını ışığın c/n evre hızına eklemediğini görürüz.

[3] Yalnızca ışığın *bir boşluktaki* hızı evrensel C değişmezine eşit iken, özdeksel bir ortamda ışık hızı genel olarak C'den ayrı olacaktır.

Bu formül gerçekte şimdiye dek yapılmış tüm deneyler ile uyum içindedir. Böyle deneylerin sonuçta hızların toplamı için relativistik formülü doğruladığı söylenebilir.

İrdeleyeceğimiz ikinci deney mezonların bozulmasıdır. İyi bilindiği gibi, mezonlar kararsız parçacıklardır ve kozmik ışınların ya da laboratuarda ivmelendirilmiş yüksek-enerji parçacıklarının özdek bloklarını bombardıman etmesine izin verildiği zaman yaratıldıkları keşfedilmiştir. Bu parçacıkların tümü başka parçacıklara dönüşerek bozulur. Bir parçacıklar topluluğu için bozulma zamanlarının bir istatistiksel dağılımı vardır, ama tikel bir mezon türü için τ ortalama bozulma zamanı ölçülebilir, ve, parçacığın türüne bağlı olarak, 10^{-6} ile 10^{-10} sn arasında ya da daha kısa olabilir.

Şimdi τ_0 dinginlikteki (ya da düşük hızdaki) bir mezonun bozulması için gereken ortalama zaman olsun. O zaman v hızındaki bir parçacığın bozulması için ortalama τ zamanı hesaplanabilir. Çünkü, görelilik ilkesine göre, içinde mezonun dinginlikte olduğu gönderme çatısındaki bozulma zamanı mezonun laboratuar ile göreli hızından bağımsızdır. Bu durumda, laboratuar gönderme çatısı için Lorentz dönüşümünün sonucunu hesaplamak çok kolaydır, çünkü τ_0 bozulma zamanı gerçekte bir tür saat ya da doğal zaman ölçüsü olarak hizmet eder. Laboratuar dizgesindeki bozulma zamanı bu durumda iki gönderme çatısındaki saatlerin dönemlerini ilişkilendiren iyi bilinen formül tarafından verilir:

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \qquad (17\text{–}2)$$

Bir sonuç olarak, devinen mezonların bozulmak için dinginlikte olanlardan $\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ oranında daha uzun bir zaman kullanması gerekir. Bu tahmin hem laboratuarda üretilen hem de kozmik ışınlar tarafından üretilen mezonlar için sınanmıştır. Tüm durumlarda mezon bozulması hızının tahmin edilen yavaşlaması doğrulanır. Kozmik-ışın mezonlarının bir bölümü için v hızı c'nin çok yakınlarına gelir, öyle ki $\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ oranı 1000 kadar büyük olur; ve bu uç durumda bile, relativistik formül doğrulanır. Böylece ayrı hızlarda devinen saatlerin ayrı işleme hızlarına ilişkin relativistik tahmin oldukça iyi doğrulanır.

Son olarak, devinen bir cisim tarafından yayılan ışığın Doppler kaymasını (yakından ilişkili olduğu yön sapması ile birlikte) irdelemek istiyoruz. Önceki durumlarda olduğu gibi, cismin dinginlikte olduğu gönderme çatısı ile başlarız (ki bu durumda neyin olacağını deney yoluyla biliriz), ve bundan sonra laboratuar gönderme çatısının bakış açısından neyin olacağını görmek için bir Lorentz dönüşümü yaparız.

Şimdi z_0 ekseni ile göreli bir θ_0 yönünde ışık yayan dinginlikteki bir cismi irdeleyelim. Işığın frekansı ν_0 olsun. Işık hızının c olduğunu bildiğimize göre, dalga uzunluğu $\lambda_0 = c/\nu_0$ olacaktır.

Şimdi, cisim v hızı ile z yönünde devinsin, ve ışığını laboratuar gönderme çatısından gözlemleyelim. Görelilik ilkesine göre, atomun dinginlikte olduğu gönderme çatısında gözlemlenen şey bu gönderme çatısının laboratuar ile göreli hızından bağımsızdır, öyle ki laboratuar gönderme çatısında neyin gözlemleneceğini bulmak için yalnızca bir Lorentz dönüşümü yapmamız yeterlidir.

Şimdi, daha önce gördük ki bir Lorentz dönüşümünde ışık hızı her iki gönderme çatısında da aynı olacaktır. Ama ışık ışınının *yön* ve *frekansı* iki gönderme çatısında genellikle ayrı olacaktır.

Laboratuar gönderme çatısından görüldüğü gibi ışık ışınının yönünü hesaplamak için, varsayalım ki bir ışık ışını koordinat dizgemizin kökeni olarak aldığımız O noktasından geçsin. O zaman, eğer örneğin ışın $x_0 - z_0$ düzleminde ise, t_0 zamanında $z_0 = \cos\theta_0 ct_0$, $x_0 = \sin\theta_0 ct_0$, $y_0 = 0$ noktasına ulaşacaktır. Bu ışının laboratuar gönderme çatısında neye benzeyeceğini görmek için, denklem (14–4)'de verilen Lorentz dönüşümünü uygular ve şunu elde ederiz:

$$z = \frac{\cos\theta_0 ct_0 + vt_0}{\sqrt{1-(u^2/c^2)}} = \frac{ct_0[\cos\theta_0 + (v/c)]}{\sqrt{1-(u^2/c^2)}}$$

$$x = \sin\theta_0 ct_0$$

$$t = \frac{t_0 + (v/c)\cos\theta_0 t_0}{\sqrt{1-(u^2/c^2)}} = \frac{t_0}{\sqrt{1-(u^2/c^2)}}\left(1 + \frac{v}{c}\cos\theta_0\right) \qquad (17\text{–}3)$$

Işık ışınının laboratuar gönderme çatısındaki yönü o zaman şu formüle göre verilir:

$$\tan\theta = \frac{x}{z} = \frac{\sin\theta_0\sqrt{1-(v^2/c^2)}}{\cos\theta_0 + (v/c)} \qquad (17\text{–}4)$$

Bu formül $\theta_0 \leq \pi/2$ için laboratuardaki açının her zaman kökensel dizgede olduğundan daha küçük olduğunu imler. v/c bire yaklaşırken [öyle ki $\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ sıfıra yaklaşır (D.B.)], bu etki özellikle önemli olur. Gerçekten de kozmik ışınlar durumunda öylesine enerjik kimi parçacıklar vardır ki, başkaları ile çarpıştıklarında v/c iki parçacığın kütle-özeği dizgesi için bire çok yakındır. O zaman, parçacıkların θ_0 çarpışma açısı boyunca dağılımının kütle-özeği dizgesinde oldukça biçimdeş olabilmesine karşın, dağılım laboratuar dizgesinde dar bir koniye dönüşür [ki bunun genişliği $\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ düzenindedir (D.B.)]. Böyle dar koniler çekirdekleri olan tekil parçacıkların çarpışmaları sırasında doğan çok yüksek enerjili belli kozmik-ışın sağanaklarında gözlenir. [Dışarıya giden parçacıkların ışık hızında olmamasına karşın, bu hıza çok yaklaşırlar, ve gösterilebileceği gibi, denklem (17–4) böyle parçacıklar için iyi bir yaklaşıklık olarak geçerli olacaktır. (D.B.)]

Bu konilerin gözlemlenen genişlikleri kütle-özeği dizgesinin hızından yukarıdaki uslamlamaya göre hesaplanacak olanlar ile gerçekte iyi bir anlaşma içindedir. Bu hız ise bağımsız araçlar yoluyla gözlenebilen ge-

len parçacığın enerjisinden elde edilebilir. Böylece denebilir ki (17–4) deney tarafından oldukça iyi doğrulanır.

Şimdi laboratuar gönderme çatısında gözlemlendiği gibi ışığın dalga boyunu hesaplayacağız. Bu temel olarak θ_0 yönündeki düzlem dalganın evresi için formülden elde edilir.

$$\Phi = 2\pi\left(\nu_0 t_0 - \frac{\cos\theta_0 z_0 + \sin\theta_0 x_0}{\lambda_0}\right) \tag{17–5}$$

$\lambda_0\nu_0 = c$ olmak üzere. Eğer Lorentz dönüşümünü (14–3) uygularsak, şunu elde ederiz:

$$\Phi = \frac{2\pi}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}}\left[\nu_0\left(t - \frac{vz}{c^2}\right) - \frac{\cos\theta_0}{\lambda_0}(z - vt) - \frac{\sin\theta_0}{\lambda_0}x\right] \tag{17–6}$$

Şimdi, laboratuar gönderme çatısında, karşılık düşen düzlem dalganın evresi için formül şudur:

$$\Phi = 2\pi\left(\nu t - \frac{\cos\theta}{\lambda}z - \frac{\sin\theta}{\lambda}x\right) \tag{17–7}$$

$\lambda\nu = c$ olmak üzere.

(17–3) denklemini (17–6) ile karşılaştırırsak görürüz ki

$$\nu = \frac{\nu_0}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} + \frac{v}{\lambda_0}\frac{\cos\theta_0}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} = \frac{\nu_0}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}}\left(1 + \frac{v}{c}\cos\theta_0\right) \tag{17–8}$$

$$\frac{\cos\theta}{\lambda} = \frac{\cos\theta_0}{\lambda_0\sqrt{1-(v^2/c^2)}} + \frac{v}{c^2}\frac{\nu_0}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \tag{17–9}$$

$$\frac{\sin\theta_0}{\lambda_0} = \frac{\sin\theta}{\lambda} \tag{17–10}$$

$\lambda_0\nu_0 = c = \lambda\nu$ denklemini kullanarak şunu elde ederiz:

$$\frac{\sin\theta}{\sin\theta_0} = \frac{\nu_0}{\nu} \qquad \cos\theta = \frac{\nu_0}{\nu\sqrt{1-(v^2/c^2)}}\left(\cos\theta_0 + \frac{v}{c}\right)$$

$$\tan\theta = \frac{\sin\theta_0\sqrt{1-(v^2/c^2)}}{\cos\theta_0 + (v/c)} \tag{17–11}$$

Yukarısı hiç kuşkusuz (17–4) ile aynıdır, ışık *ışınlarının* (ki dalga önlerine normaldirler) yönlerinin irdelemesi ile elde edilir. Açıktır ki, iki bakış açısı, götürmeleri gerektiği gibi, ışığın yönünü ilgilendiren eşdeğer sonuçlara götürür, çünkü ışınların yönleri dalga önlerine (değişmez Φ evresinin yüzeyleri) normaller olarak belirlenir.

(17–11) ve (17–8) denklemlerinden şunu elde ederiz:

$$\cos\theta_0 = -\frac{v}{c} + \frac{\nu}{\nu_0}\cos\theta\sqrt{1-(v^2/c^2)}$$

$$\nu = \frac{\nu_0}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}}\left(1+\frac{v}{c}\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}\cos\theta\right)$$

$$\frac{\nu}{\nu_0} = \frac{\sqrt{1-(v^2/c^2)}}{1-(v/c)\cos\theta} \qquad (17\text{–}12)$$

v/c sıfıra yaklaşırken, yukarısı açıktır ki Doppler kayması için iyi bilinen relativistik-olmayan formüle yaklaşır,

$$\frac{\nu}{\nu_0} = \frac{1}{1-(v/c)\cos\theta}$$

Bununla birlikte, daha genel olarak, açıktır ki $\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ düzeninde daha öte bir relativistik düzeltme vardır. Işık ışınının onu yayan cismin devim yönüne dik olması durumunda (laboratuar gönderme çatısında ölçüldüğü gibi), bu formül şuna indirgenir:

$$\frac{\nu}{\nu_0} = \sqrt{1-(v^2/c^2)} \quad \text{ya da} \quad \frac{T}{T_0} = \frac{1}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \qquad (17\text{–}13)$$

ki burada T ışık dalgasının salınım dönemidir.

Dikey geliş açısı için, Doppler kayması relativistik-olmayan kuramda yiter. Relativistik kuramda yitmemesinin nedeni temel olarak ışık döneminin bir tür "saat" olarak görülebilmesidir, öyle ki bir gönderme çatısından onunla göreli olarak bir v hızı ile devinen bir başkasına değişimde geriye bu dönemin $1/\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ oranında bir artışı kalır.

Dikey geliş devimlerinde ışıyan atomlardan Doppler kayması üzerine deneyler relativistik formülü doğrular ve böylece bu deneyler kendisine göreli olarak devimde oldukları bir dizgede gözlemlenen saatlerin hızlarındaki değişim üzerine relativistik tahminin daha öte bir doğrulaması olarak görülebilir.

XVIII

Görelilikte Devinirlik ve Kütle

Daha önce denklem (16–2)'den gördüğümüz gibi Newton'ın devim yasaları bir Lorentz dönüşümü altında değişimsiz değildir, ve görelilik ilkesi öyleyse bunların (v/c sıfıra yaklaşırken sınırda olmanın dışında) doğru mekanik yasaları olamayacağını imler. Buna göre, Bölümler 15 ve 16'da tartışılan kavram ile uyum içinde, bu yasalar ile ilgili ilk problemimiz onları bir Lorentz dönüşümü altında değişimsiz olan yeni bir denklemler kümesi elde edecek yolda genelleştirmektir.

Yukarıda betimlenen genellemeyi yerine getirirken, Newton'ın yasalarını cismin **p** devinirliğinin terimlerinde yazmak uygun olacaktır. Bu yasalar o zaman şu biçimi alır:

$$\frac{d\mathbf{p}}{dt} = \mathbf{F} \tag{18–1}$$

$$\mathbf{p} = m\mathbf{v} \tag{18–2}$$

$$\frac{dm}{dt} = 0 \quad \text{(öyle ki kütle değişmez bir değerdir)} \tag{18–3}$$

Bir cisimler dizgesinde, *bütünsel* devinirlik **P** ve bütünsel kütle M

$$\mathbf{P} = \sum_{i=1}^{N} m_i v_i \qquad M = \sum_{i=1}^{N} m_i \tag{18–4}$$

tarafından verilir, ki burada m_i i sıralı parçacığın kütlesi ve v_i hızıdır. Kütle özeğinin hızı:

$$\mathbf{V} = \frac{\mathbf{P}}{M} \tag{18–5}$$

Newton mekaniğinde iyi bilinen bir teoreme göre yalıtılmış bir dizge için bütünsel devinirlik $d\mathbf{P}/dt = 0$ denklemini doyurur ve **P** değişmez

bir vektördür. Benzer olarak, (18–3)'ten böyle bir dizgede bütünsel kütlenin de bir değişmez olduğu sonucu çıkar.

Bu yasalar, e.d. devinirliğin sakınımı ve kütlenin sakınımı yasaları açıktır ki biçimde Newton'ın denklemlerinin olduğundan çok daha yalındır, ve dolayısıyla genelleştirilmeleri de karşılık düşen bir yolda daha kolay olmalıdır. Bunu yaptıktan sonra, Bölüm 21'de Newton'ın yasalarının kendilerini genelleştirmeye geçeceğiz.

Yordamımızın arkasındaki temel düşünce fiziksel kuramlarda bütün bir dizgeyi parçalara ya da bileşenlere çözümleyebilmenin özsel olduğudur. Böylece, örneğin hidrodinamik gibi sürekli bir ortam kuramında sıvıyı hacımlı küçük öğelerden oluşmuş olarak görürüz, ve özdeği kesikli atomik bir yapı taşıyor olarak açıklayan bir kuramda benzer olarak bütün bir dizge şimdi atomlar olarak alınan küçük öğelerden oluşmuş olarak görülür. Her iki tür kuramda da bir dizgenin *bütünsel devinirliğini* parçalarının devinirliklerinin toplamı olarak ele alabiliriz, ve bütünsel kütle ve bütünsel enerji için de aynı şey geçerlidir. Dahası, en azından Newton kuramının geçerli olduğu alanda, böyle dizgelerin devinirlik sakınımı, kütle sakınımı ve enerji sakınımı yasalarını doyurduğu deney yoluyla (ve ayrıca kuram yoluyla) bilinir.

Bu sakınım yasaları nedeniyle, bir dizgenin bütün devinirliği ve kütlesi (ve ayrıca enerjisi) yalnızca parçalarının kümesinin karşılık düşen özelliklerinin toplamları olarak değil, ama ayrıca, dizge yalıtılmış olduğu sürece, değişmez kalan bu bütünsel niceliklerin değerleri ile *tümleşik bir bütün* olarak da görülebilir. Gerçekten de, böyle bütünsel değerler açıktır ki çok karmaşık etkileşimlere giren parçaların her birinde sürmekte olan değişimlerden bağımsızdır. Bir özdek bloğunu moleküllerinin devimlerinin bilinmeyen ve betimlenemeyecek denli karışık ayrıntılarını gözardı ederek tekil bir makroskopik kendilik olarak ele alma olanağının temelinde yatan şey bu olgudur.

Açıktır ki hacımlı kütlenin özelliği—almaşık olarak parçalara çözümlenmeye ya da tekil bir bütün olarak ele alınmaya yetenekli olma—evrenin genel bir özelliğidir. Bu özellik öyleyse önerilen herhangi bir mekanik yasalar kümesi tarafından içerilmelidir, çünkü bu yasaların önümüzdeki *tüm* deneysel olgular için tam olarak yeterli olması buna bağlıdır.

Yukarıda betimlenen karakteristiklere ilkin relativistik-olmayan kuramlarda ulaşıldı. Ama, görelilik ilkesine göre, bir dizgenin temel fiziksel özellikleri dizgenin bir gözlemci ile göreli hızına bağımlı değildir. Öyleyse, bir dizgenin, giderek laboratuar ile göreli olarak yüksek bir hızda devinirken bile, aynı sakınım yasalarının geçerli olması ile, böyle almaşık olarak bütünlüğü içinde ya da parçalara çözümlenmiş olarak ele alınmaya yetenekli olmayı sürdürmesi zorunludur. Göreceğiz ki bu gerektirim, artı değişik gönderme çatıları arasında bir Lorentz dönüşümünün gerektirimi, devinirlik, kütle ve enerji için uygun relativistik formülleri belirlemek için yeterlidir.

Yukarıda betimlenen kavramları matematiksel bir kuramın terimlerinde somutlaştırmak için, ilk olarak belirtiyoruz ki eğer v_i bir N parçacıklı dizgedeki i sıralı parçacığın hızı ise, ve eğer m_i o parçacığın kütlesi ise, önceki paragraflarda tartışılan düşünceler **P** dizgesinin bütünsel devinirliğinin dizgenin bileşen parçalarının $p_i = m_i v_i$ devinirliklerinin toplamı olduğunu imler:

$$\mathbf{P} = \sum_{i=1}^{N} m_i \mathbf{v}_i \tag{18–6}$$

Bütünsel kütle hiç kuşkusuz:

$$M = \sum_{i=1}^{N} m_i \tag{18–7}$$

Eğer parçacıkların herhangi bir birikimini tekil ve herşeyi kapsayan bir birlik oluşturuyor olarak görme yordamını uygulamayı sürdürebileceksek, bu birliğin **V** ile belirttiğimiz genel bir "dizge hızı"nın olması, ve bütünsel devinirliğinin $\mathbf{P} = M\mathbf{V}$ olarak anlatılabilir olması zorunludur, öyle ki

$$V = \frac{\mathbf{P}}{M} = \frac{\sum_{i=1}^{N} m_i v_i}{\sum_{i=1}^{N} m_i} \tag{18–8}$$

değeri açıkça ortalama bir hıza karşılık düşer ve burada her bir parçacık bu ortalamaya kütlesine göre katkıda bulunur.

Relativistik-olmayan mekanikte **V** *ayrıca* kütle özeğinin de hızıdır. Bununla birlikte, görelilikte kütle özeği kavramı kendini oldukça karışık bir kavram olarak gösterir ve relativistik-olmayan bakış açısından taşıdığı doğrudan fiziksel imlemi taşımaz (özsel olarak şu nedenle ki. görelilikte benzersiz bir "kütle-özeği noktası" yoktur ve bu sonuncusu gerçekte gönderme çatısına bağımlıdır[4]). Gene de, **V**'nin uygun olarak tartılmış bir ortalama olarak yukarıdaki tanımından henüz genel bir dizge hızını temsil edecek uygun özellikleri taşıyacağı açıktır.

Şimdi hızın fonksiyonları olarak kütle ve devinirlik için relativistik formüllerin çıkarsanmasına başlayacağız. Bu ilkin iki parçacıktan oluşan bir dizgenin irdelenmesi ile uygun bir yolda yapılabilir; bunların B gönderme çatısında gözlendiğini ve onda ikisinin genel dizge hızının sıfır olduğunu kabul edelim. Şimdilik kendimizi tek-boyutlu duruma sınırlıyoruz (üç boyuta genelleştirme daha sonra tartışılacaktır). Eğer m_1 ve m_2 bu parçacıkların kütleleri ve v_1 ve v_2 hızları ise, o zaman, dizgenin bütünsel devinirliği şudur:

$$P = m_1 v_1 + m_2 v_2 = 0 \tag{18–9}$$

[4]Bu nokta C. C. Moller tarafından tartışılmıştır, *Ann. Inst. Henri Poincarè*, **11**, 251 (1949).

Bütünsel kütle hiç kuşkusuz

$$M = m_1 + m_2 \tag{18–10}$$

iken genel dizge hızı ise, tanım gereği, hiç kuşkusuz

$$V = \frac{P}{M} = 0 \tag{18–11}$$

Şimdi bu iki parçacık dizgesini bir başka A gönderme çatısından görelim, öyle ki bu gönderme çatısında genel dizge hızı V'dür (yine z yönünde). m'_1 ve m'_2 iki parçacığın bu yeni gönderme çatısındaki kütleleri ve v'_1 ve v'_2 ise hızları olsun. O zaman dizgenin B gönderme çatısında olduğu gibi A gönderme çatısında da bileşen parçalara çözümlenebilirliğini isteyen görelilik ilkemize göre parçacıkların bütünsel devinirliği bir toplam olarak yazılabilir olmalıdır.

$$P' = m'_1 v'_1 + m'_2 v'_2 \tag{18–12}$$

Benzer olarak, bütünsel kütleyi de bir toplam olarak anlatabilmeliyiz:

$$M' = m'_1 + m'_2 \tag{18–13}$$

Ama genel dizge hızının sıfır olduğu B gönderme çatısında dizgeyi eşit ölçüde uygun olarak $M = m_1 + m_1$ kütlesi ve V genel dizge hızı (bu durumda sıfır) ile tekil bir bütün olarak görebildiğimiz için, görelilik ilkesinden şu çıkar ki dizge A gönderme çatısından görüldüğü zaman aynı olanak varolmalıdır. Öyleyse

$$P' = M'V' \tag{18–14}$$

olmalıdır. (18–9)'dan şunu elde ederiz

$$\frac{m_1}{m_2} = -\frac{v_1}{v_2} \tag{18–15}$$

(18–12), (18–13) ve (18–14)'ten şu çıkar:

$$m'_1 v'_1 + m'_2 v'_2 = (m'_1 + m'_2) V' \tag{18–16}$$

ve

$$\frac{m'_1}{m'_2} = -\frac{(V' - v'_2)}{(V' - v'_1)} \tag{18–17}$$

Şimdi hızların toplanması için relativistik yasaya (15–8) başvururuz, ki şunu verir:

$$v'_1 = \frac{v_1 + V'}{1 + (v_1 V'/c^2)} \qquad v'_2 = \frac{v_2 + V'}{1 + (v_2 V'/c^2)} \tag{18–18}$$

Bunlar (18–17)'de yerlerine koyulunca (biraz cebirden sonra) şu elde edilir:

$$\frac{m'_1}{m'_2} = \frac{1 + (v_1 V'/c^2)}{1 + (v_2 V'/c^2)} \frac{v^2}{v} \tag{18–19}$$

ve (18–15)'in yardımıyla bu şuna indirgenir:

$$\frac{m_1'}{m_2'} = \frac{1+(v_1V'/c^2)}{1+(v_2V'/c^2)}\frac{m_1}{m_2} \tag{18–20}$$

Yukarıdaki anlatım daha uygun olarak şöyle yazılabilir:

$$\frac{m_1'/m_1}{m_2'/m_2} = \frac{1+(v_1V'/c^2)}{1+(v_2V'/c^2)} \tag{18–21}$$

Ama şimdi, yukarıdaki denklemin sağ yanı için kolayca bir başka anlatım elde edebiliriz. Bunu yapmak için, ilkin $\beta = \sqrt{1-(v_1'^2/c^2)}$ niceliğinin nasıl dönüştüğünü bulalım. Bunu yapmak için şunu yazarız:

$$\begin{aligned}\beta = \sqrt{1-\frac{v_1'^2}{c^2}} &= \sqrt{1-\frac{(v_1+V')^2}{c^2[1+(v_1V'/c^2)]^2}} \\ &= \frac{\sqrt{1-(V'^2/c^2)}\sqrt{1-(v_1^2/c^2)}}{1+(v_1V'/c^2)}\end{aligned} \tag{18–22}$$

O zaman şunu elde ederiz

$$\frac{m_1'/m_1}{m_2'/m_2} = \frac{\sqrt{1-(v_1^2/c^2)}/\sqrt{1-(v_1'^2/c^2)}}{\sqrt{1-(v_2^2/c^2)}/\sqrt{1-(v_2'^2/c^2)}} = \frac{R(v_1,v_1')}{R(v_2,v_2')} \tag{18–23}$$

ki burada

$$R(v_1,v_1') = \frac{\sqrt{1-(v_1^2/c^2)}}{\sqrt{1-(v_1'^2/c^2)}} \qquad R(v_2,v_2') = \frac{\sqrt{1-(v_2^2/c^2)}}{\sqrt{1-(v_2'^2/c^2)}} \tag{18–24}$$

Şimdi (18–23) *keyfi* v_1, v_2, v'_1 ve v'_2 için geçerli olmalıdır. Bunun neyi imlediğini görmek için her iki yanın logaritmasını alalım:

$$\ln\left(\frac{m_1'}{m_1}\right) - \ln\left(\frac{m_2'}{m_2}\right) = \ln R(v_1,v_1') - \ln R(v_2,v_2')$$

ya da

$$\ln\left(\frac{m_1'}{m_1}\right) - \ln R(v_1,v_1') = \ln\left(\frac{m_2'}{m_2}\right) - \ln R(v_2,v_2') \tag{18–25}$$

Yukarıdaki denklemin bir yanında yalnızca ilk parçacık ile ilgili niceliker görünürken, öteki yanda ise yalnızca ikinci parçacık ile ilgili nicelikler görünür. İki parçacığın hızları birbiri ile ilişki içinde keyfi olarak değiştirilebildiği için, denklem (18–25) ancak her iki yan da denklemlerdeki tüm niceliklerden bağımsız bir α değişmezine eşit ise bir çözüm verebilir. O zaman buna göre

$$\ln\left(\frac{m_1'}{m_1}\right) - \ln R(v_1,v_1') = \alpha \qquad \ln\left(\frac{m_2'}{m_2}\right) - \ln R(v_2,v_2') = \alpha \tag{18–26}$$

$l^{\alpha} = K$ ile yukarıdaki denklemlerin üslüsünü alırsak, şunu elde ederiz:

$$\frac{m_1'}{m_1} = KR(v_1, v_1') = \frac{K\sqrt{1-(v_1^2/c^2)}}{\sqrt{1-(v_1'^2/c^2)}}$$

$$\frac{m_2'}{m_2} = KR(v_2, v_2') = \frac{K\sqrt{1-(v_2^2/c^2)}}{\sqrt{1-(v_2'^2/c^2)}} \qquad (18\text{–}27)$$

Şimdi $v_1 = 0$ ile özel durumu irdeleyelim. O zaman şunu elde ederiz:

$$\frac{m_1'}{m_1} = \frac{K}{\sqrt{1-(v_1'^2/c^2)}} \qquad (18\text{–}28)$$

Bu durumda m_1 parçacığın dinginlikte iken kütlesidir. Bununla birlikte, bu yalnızca Newton'ın devim denklemlerinde (ki hiç kuşkusuz v/c sıfıra yaklaşırken sınırda geçerlidirler) relativistik olmayan bir yolda görünen sıradan kütledir. Bu dinginlik kütlesini $m_{1,0}$ ile gösterelim. Buna göre şunu elde ederiz:

$$m_1' = \frac{Km_{1,0}}{\sqrt{1-(v_1'^2/c^2)}} \qquad (18\text{–}29)$$

Şimdi $v'_1 = 0$ ile daha da özel duruma geçelim. Burada $m'_1 = m_{1,0}$ olmalıdır ki, bundan $K = 1$ sonucu çıkar. Açıktır ki ikinci parçacık için de benzer bir sonuç geçerlidir. Öyleyse, her iki parçacık için de geçerli bir formül yazabiliriz:

$$m(v) = \frac{m_0}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \qquad (18\text{–}30)$$

O zaman devinirlik

$$p = mv = \frac{m_0 v}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \qquad (18\text{–}31)$$

Yukarıdakiler sırasıyla kütle ve devinirlik için relativistik formüllerdir. Dikkat edin ki kütle hız üzerine bağımlıdır ve bundan böyle Newton kuramında olduğu gibi bir değişmez değildir.

Bu sonuçlar kolayca N parçacıklı bir dizgeye genişletilebilir. Çünkü ilk olarak onları herhangi ikisine uygulayabiliriz, ve sonra bu ikisini bütünsel kütle $M = m_1 + m_2$, bütünsel devinirlik $P = p_1 + p_2$, ve genel dizge hızı $V = P/M$ ile bir bütün dizge olarak görebiliriz. Bu bütün dizge o zaman tek bir parçacık olarak ele alınabilir, ve bu bölümde türettiğimiz tüm vargıları kabul edecek yeni bir çift oluşturmak üzere üçüncü parçacık ile bileşim içinde görülebilir. O zaman üç parçacığı tek bir bütün olarak görebiliriz ve bu yolda, tümevarım ile, dizgedeki tüm parçacıkları içeri alıncaya dek ilerleyebiliriz. Bu yolda kolayca gösterilebilir ki, eğer (18–30) ve (18–31) denklemleri her bir parçacık için

geçerli olarak alınırsa, o zaman relativistik olarak değişimsiz bir yolda, e.d. aynı çözümlemenin bir Lorentz dönüşümü yoluyla bağıntılanan tüm gönderme çatılarında geçerli olması koşulu ile, dizge istenen herhangi bir parçalar kümesine çözümlenebilir.

Bundan şu çıkar ki böyle *her* gönderme çatısında bütünsel kütle ve bütünsel devinirlik için aynı fonksiyonel ilişkileri elde ederiz.

$$M = \sum_{i=1}^{N} \frac{m_{0i}}{\sqrt{1-(v_i^2/c^2)}} \qquad P = \sum_{i=1}^{N} \frac{m_{0i}v_i}{\sqrt{1-(v_i^2/c^2)}} \tag{18–32}$$

Eğer parçacıklara etkileşimde bulunma izni verilirse, bireysel olarak alınan parçacıkların her birinin devinirlik ve kütleleri genel olarak değişecektir. Şimdi, relativistik-olmayan mekanikte gördüğümüz gibi, dizgenin *bütünsel* devinirliği ve *bütünsel* kütlesi saklanır, üstelik böyle etkileşimlerin bir sonucu olarak çeşitli parçaların bu özellikleri değiştiği zaman bile. Kolayca görülebilir ki bu özellikler relativistik olarak genelleştirilebilir—eğer bütünsel kütle ve bütünsel devinirlik Lorentz gönderme çatılarından herhangi birinde saklanırsa bunların bu türden her başka gönderme çatısında da saklanacak olması anlamında. Bunu kanıtlamak için, (18–22) denkleminden yararlanarak "üslenmiş/*primed*" koordinatlar dizgesindeki i sıralı parçacık için şunları yazarız:

$$m_i' = \frac{m_{0i}}{\sqrt{1-(v_i^2/c^2)}} = \frac{m_{0i}(1-v_iV'/c^2)}{\sqrt{1-(v_1^2/c^2)}\sqrt{1-(V'^2/c^2)}} = \frac{m_i + p_iV'}{\sqrt{1-(V'^2/c^2)}}$$

$$M' = \sum_i m_i = \frac{1}{\sqrt{1-(V'^2/c^2)}} \sum_i (m_i + p_iV'/c^2) \tag{18–33}$$

ki burada m_i "üslenmemiş" koordinatlar dizgesindeki i numaralı parçacığın kütlesi ve p_i ise onun devinirliğidir. Eğer $\sum_i m_i$ bütünsel kütlesi ve $\sum_i p_i$ bütünsel devinirliği üslenmemiş dizgede saklanırsa, o zaman (V' bir değişmez olduğuna göre), bundan şu çıkar ki $\sum_i m'_i$ bütünsel kütlesi "üslenmiş" dizgede saklanır. Ve (18–14) denkleminden $P' = M'V'$ bütünsel devinirliğinin de bu son dizgede saklandığı sonucu çıkar.

Relativistik sakınım yasalarının ne demek olduğunu daha ayrıntıda görmek için, bir örnek olarak iki parçacığın çarpışmasını irdeleyelim. m_1^A, m_2^A, v_1^A, v_2^A iki parçacığın çarpışmadan önceki, ve m_1^B, m_2^B, v_1^B, v_2^B çarpışmadan sonraki kütle ve hızlarını belirtsin. Eğer parçacıklar relativistik-olmayan kuramın uygulanabileceği denli yavaş ise, biliriz ki

$$m_1^A v_1^A + m_2^A v_2^A = m_1^B v_1^B + m_2^B v_2^B \tag{18–34}$$

(bütünsel devinirlik sakınımı)

$$m_1^A = m_1^B \qquad m_2^A = m_2^B \tag{18–35}$$

(her bir parçacığın kütle değişmezliği)

Şimdi, eğer bu çarpışma iki atomun genel dizge hızının yüksek olduğu bir başka gönderme çatısından görülürse, bu bölümün sonuçları bütünsel devinirlik için sakınım yasasının (18–34) yeni gönderme çatısında geçerli olmayı sürdüreceğini gösterir, yeter ki (18–30) ve (18–31) denklemleri parçacıkların yeni dizgedeki kütle ve devinirlikleri için kabul edilsin. Bununla birlikte, her bir parçacığın kütle değişmezliğini anlatan (18–35) yerine,

$$m_1{}^A + m_2{}^A = m_1{}^B + m_2{}^B \tag{18–36}$$

denklemini elde ederiz ki, yalnızca dizgenin *bütünsel kütlesinin* saklandığını, ama ayrı ayrı parçacıklarının bütünsel kütlelerinin genel olarak değişeceğini imler [(18–30)'a göre olması gerektiği gibi, çünkü bu kütle parçacığın gerçekte bir çarpışmada değişen hızına bağımlıdır (D.B.)].

Buraya dek sonuçlarımızı tüm devimin tek bir yönde, z yönünde olduğu sayıltısı altında türettik. Ama problem üç boyutta irdelendiği zaman, burada vermeyeceğimiz daha ayrıntılı bir hesaplama ile kolayca gösterileceği gibi özsel olarak aynı özellikler elde edilir. Kütle yine (18–30)'a benzer bir denklem tarafından verilir, ama v'yi parçacığın hız vektörünün, (v_x, v_y, v_z), saltık değeri olarak görmeliyiz, öyle ki $v^2 = v_x^2, v_y^2, v_z^2$.

Hiç kuşkusuz, şimdi devinirliğin üç bileşeni vardır. Vektör notasyonunda şunları elde ederiz:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \tag{18–37}$$

$$p = m\mathbf{v} = \frac{m_0\mathbf{v}}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \tag{18–38}$$

Yalıtılmış bir dizgenin bütünsel devinirliğinin her bir bileşeni şimdi bütünsel kütlesi ile birlikte saklanır.

Kütlenin hız ile değişimi hiç kuşkusuz tam olarak onu elektron üzerinde etkide bulunan "geri emk"nin bir sonucu olarak gören Lorentz kuramı tarafından öngörülen şeydir—"geri emk" ivmelenmekte olan elektronun ürettiği değişen manyetik alan tarafından indüklenmek üzere.

Einstein'ın bakış açısında elektronun kütlesinin bir parçasının ya da belki de tümünün böylece elektromanyetik kökenli olabileceğini yadsımıyoruz. Bununla birlikte, kütlenin hız ile ilişkisinin belirlenimini örneğin Lorentz tarafından ileri sürüldüğü gibi tikel elektron modelleri üzerine bağımlı olarak görmüyoruz. Tersine, *kütlenin kökeninden bağımsız olarak*, hız üzerine bu tikel bağımlılığı taşıması gerektiğini görüyoruz—eğer bu kesimde betimlenen fizik yasalarının genel özellikleri relativistik olarak değişimsiz olacaksa, e.d. eğer bir Lorentz dönüşümü tarafından ilişkilendirilen tüm gönderme çatılarında aynı olacaksa.

XIX

Kütle ve Enerji Eşdeğerliği

Şimdi Einstein'ın relativistik bakış açısının devrimci etkisini büyük ölçüde genişleten belirleyici bir adıma, kütle ve enerji eşdeğerliğinin bugünlerde çok iyi bilinen $E = mc^2$ formülü yoluyla tanıtlamasına geliyoruz.

Bu kavramı geliştirmek için devinen bir nesnenin kütlesi için $m = m_0/\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ denklemi (18–37) ile başlıyoruz. Küçük v/c için m değerini, yalnızca v^2/c^2'ye dek olan terimleri tutarak, v/c'nin bir üsler dizisi olarak açabiliriz. Sonuç şudur:

$$m \cong m_0\left(1+\frac{v^2}{2c^2}+\ldots\right) \tag{19–1}$$

Eğer bunu c^2 ile çarparsak, şunu elde ederiz:

$$mc^2 = m_0c^2 + \frac{m_0v^2}{2} + \ldots \tag{19–2}$$

Ama $m_0v^2/2$ yalnızca v hızı ile devinen bir cismin *T kinetik enerjisi* için relativistik-olmayan anlatım, ve m_0c^2 yalnızca bir değişmezdir. O zaman böyle bir cisim için şunu elde ederiz:

$$mc^2 - m_0c^2 = T \tag{19–3}$$

Önceki bölümde elde edildiği gibi, bir dizgenin bütünsel kütlesinin sakınımı o zaman en azından relativistik-olmayan sınırda bir cisimler kümesinin *bütünsel enerjisinin sakınımı* yasasına eşdeğer olur. Ama görelilik ilkesinin gerektirdiği gibi, eğer böyle bir yasa gönderme çatılarından herhangi birinde geçerli ise, tüm gönderme çatılarında geçerli olacaktır. Buna göre, denklem (19–3) *herhangi bir gönderme çatısındaki* bir parçacığın kinetik enerjisini temsil etmelidir, üstelik c^2/v^2 terimlerinde açılım bundan böyle iyi bir yaklaşıklık olmadığı zaman bile.

Eğer m_0c^2 denklemin öteki yanına geçirilirse, bu sonucun imlemi daha açık olarak görülebilir. O zaman cismin enerjisi için şunu yazarız:

$$E = m_0c^2 + T = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \tag{19–4}$$

Bunu her zaman yapabiliriz, çünkü relativistik-olmayan kuramda enerji her durumda keyfi bir değişmezin sınırları içerisinde tanımsızdır. Matematiksel olarak konuşursak, Einstein'ın yordamı burada bu keyfi değişmezi tanımlamaya eşdeğerdir, öyle ki dinginlikteki bir parçanın enerjisi

$$E_0 = m_0c^2 \tag{19–5}$$

olarak alınır. Fiziksel olarak, bu devimde olmayan bir parçacığın bile (19–5) denklemi tarafından verilen *dinginlik enerjisini* taşıdığı sayıltısına karşılık düşer.

Bu dinginlik enerjisinin anlamı nedir? Belki de bunu ortaya koymak için belirtebiliriz ki, görülür olarak dinginlikte olan tipik bir nesne edimsel olarak bir yeğin devim durumunda olan parçalardan (e.d. moleküller, atomlar, çekirdekler vb.) oluşur, öyle ki ortalamada devimin etkileri makroskopik bir ölçekte gözlendiklerinde birbirlerini ortadan kaldırır. Buna karşın, önceki bölümde verilen uslamlamalara göre, tüm bu devimler şu formüle göre bileşen parçacıkların kütlelerine katkıda bulunur:

$$m_i = \frac{m_{0i}}{\sqrt{1-(v_i^2/c^2)}} \cong m_{0i} + \frac{m'_{0i}v_i^2}{2c^2} = m_{0i} + \frac{T_i}{c^2} \tag{19–6}$$

Dizgenin bütünsel kütlesi o zaman şudur:

$$M = \sum_i \left(m_{0i} + \frac{T_i}{c^2} \right) = \sum_i m_{0i} + \frac{T}{c^2} \tag{19–7}$$

ki burada T çeşitli parçacıkların bütünsel kinetik enerjisidir. c^2 ile çarpılınca şu elde edilir:

$$Mc^2 = \sum_i m_{0i}c^2 + T$$

Şimdi, devimin iç durumunun kütleye katkıda bulunup bulunmadığını deneysel olarak saptamanın herhangi bir yolu var mıdır? Yanıt bunu yapmanın çeşitli olanaklı yollarının olduğudur. En açık düşünce bir cismin sıcaklığını yükseltmek ve ağırlığın Q/c^2 miktarı kadar artıp artmadığını görmek olacaktır (burada Q cisim tarafından soğrulan ısı enerjisidir). Güçlük elde edebileceğimiz sıcaklık değişmeleri ile (en çoğundan birkaç bin santigrad derece), Q/c_u^2 değerinin şimdi elimizde olan yöntemler yoluyla saptanamayacak denli küçük bir nicelik olmasıdır. (Bunun temel nedeni c^2 değerinin çok büyük bir sayı olmasıdır.) Benzer olarak, eğer iki dizgenin kimyasal olarak bileşmesine ve ΔE enerjisini salmasına izin verirsek, kütlelerin toplamının başlangıçtaki

değerden $\Delta E/c^2$ kadar daha az olması gerekir. Ama, bir kez daha, bu da deneysel olarak saptanamayacak denli küçüktür.

Einstein'ın kütle ve enerji eşdeğerliğini kuramsal olarak tanıtlamasından bir süre sonra çekirdek dönüşümleri üzerine deneysel incelemeler yapıldı. Bunlarda büyük enerji niceliklerinin salındığı bulununca ürünlerin kütlelerinin toplamı ve başlangıçta tepkimeye giren özdeklerin kütlelerinin toplamı arasındaki ayrımı o sıralar elde bulunan donatım ile edimsel olarak ölçme olanağı doğdu. Böyle birçok ölçüm yapıldı; bunların tümü de bütün dizgenin kütlesindeki değişimin Q/c^2 değerine eşit olduğunu doğruladı.

Yukarıda alıntılanan deneyler bir nesnenin dinginlik kütlesinin en azından bir *parçasının* iç devimlere yüklenebileceğini gösterir, öyle bir yolda ki bu devimler değişerek bir Q enerjisi saldıkları zaman dizgenin kütlesi Q/c^2 kadar azalır. Ama Einstein'ın bir nesnenin dinginlik kütlesinin *tümünün* benzer bir yolda enerji ile ilişkilendirilebileceği bildirimini doğrulayabilir miyiz?

İlk nükleer dönüşümler araştırıldıktan birkaç yıl sonra, bir elektron ile aynı kütleyi ama karşıt yükü taşıyan ve *pozitronlar* denilen yeni parçacıklar keşfedildi. Bir elektron bir pozitron ile karşılaşınca iki parçacığın birbirini *ortadan kaldırabildikleri,* geriye hiçbir parçacığın kalmadığı ama bütünsel $Q = 2m_e c^2$ enerjisi ile gamma ışınlarının saçıldığı bulundu (bu enerji en sonunda gamma ışınlarının elektronlar ve atomlar ile çarpışması sonucunda ısıya dönüşür). Bu yolda bir elektronun dinginlik enerjisinin *tümünün* gizil olarak örneğin ısı gibi başka enerji biçimlerine dönüştürülebilir olduğu gösterildi.

Pozitronun keşfinden bu yana, "antiprotonlar" denilen (negatif yüklü ve protonun kütlesi ile aynı kütleli) parçacıklar bulunmuştur ve bunlar da benzer olarak protonları ortadan kaldırabilir. Gerçekten de, şimdi her tür temel parçacık için onunla aynı kütleyi taşıyan ve belirli olarak ilişkili özellikler (örneğin yük ve dönü/*spin* gibi) gösteren ve şu ya da bu biçimdeki enerjiden başka hiçbirşey vermemek üzere parçacık ile bileşen bir karşı-parçacığın varolduğu bilinmektedir. Evrik olarak, bir çekirdek ile çarpışan bir gamma ışınının soğrulabileceği ve enerjisinin örneğin bir elektron-pozitron çiftinin dinginlik enerjisine dönüştürülebileceği gösterilmiştir—bir çift ki bu süreçte daha önce böyle hiçbir parçacığın varolmasına izin vermeyen koşullar altında *yaratılır.* Böylece bir cismin "dinginlik enerjisi"nin ya bir parçasının ya da bütününün başka enerji biçimlerine dönüştürülebileceğinin, ve başka enerji biçimlerini dinginlik enerjisine çeviren evrik sürecin de olanaklı olduğunun kesin deneysel tanıtlaması elde edilmiştir.

Kütle ve enerji eşdeğerliğinin daha önce gözlenmemiş olmasının biricik nedeni, daha önce ileri sürdüğümüz gibi, çekirdek süreçlerinin keşfinden önce, Q enerjisi ile bağıntılı Q/c^2 kütlesinin saptanamayacak denli küçük olması idi. Evrik olarak, bu hiç kuşkusuz özdeğin dinginlik enerjisinde çok büyük yedeklerin "kilitli" olduğu anlamına gelir.

Bu yedekler bölümsel olarak atom pillerinde çekirdek yarılması/*fission* yoluyla, ve ayrıca Güneşte ve yıldızlarda kendiliğinden sürmekte olan "kaynaşma/*fusion*" süreçleri yoluyla salınan şeydir.

Einstein kütle ve enerjinin niçin $E = mc^2$ formülüne göre bağıntılı olduğunu görmek için yalın bir fiziksel yol önerdi. Bunu yapmak için, laboratuarda dinginlikte olan M_B kütleli bir kutu düşündü. Varsayalım ki bu kutu duvarlar ile termodinamik denge içinde olmak üzere ışıyan bir elektromanyetik enerji dağılımı kapsıyor olsun. Ve bu ışımanın enerjisi E_R ile belirtilsin.

Şimdi, iyi bilindiği gibi, elektromanyetik enerji kutunun duvarlarına bir gaz tarafından üretilen basınca benzer bir ışıma basıncı uygular. Kutu dinginlikte ya da biçimdeş devimde olduğu zaman, duvarlardan herhangi birine uygulanan bütünsel kuvvet karşı duvara uygulanan kuvvet tarafından ortadan kaldırılır. Ama eğer kutuya bir a ivmesi verilirse, o zaman ivme yer alırken arka duvardan yansıyan ışıma ön duvardan geri yansıyan ışımanın yitireceğinden daha çok devinirlik kazanacaktır.

Devinen duvarlar üzerinde ortaya çıkan basınç değişimlerinin ayrıntılı bir hesaplaması yapılınca, ışımanın kutu üzerinde ivmeye karşıt olarak net bir $F_R = -E_R a/c^2$ kuvvetini uyguladığı bulunur. Dizgenin devim denklemi o zaman şu olacaktır:

$$m_B a = -\frac{E_R a}{c^2} + F \tag{19–8}$$

ki burada F uygulanan kuvvettir. Bu şuna indirgenir:

$$\left(M_B + \frac{E_R}{c^2}\right) a = F \tag{19–9}$$

Böylece E_R ışıma enerjisi E_R/c^2 kadar bir "etker kütle" ekler, ve bu böyle bir kütlenin "kütle" adı verilen fiziksel özelliğin karakteristik belirişlerinden biri olan süreduruma (ya da ivmeye dirence) katkıda bulunacağı aynı yolda katkıda bulunması anlamında yer alır.

Einstein tarafından irdelenen durumun önceki bölümde bütünsel kütlenin çeşitli parçacıklarının *iç devimlerinin* onun üzerindeki etkilerini incelerken tartışılan duruma çok benzer olduğu görülebilir. Einstein bunun yerine elektromanyetik ışımanın iç devimlerinin etkilerine göndermede bulunur, ve böylece kütleye katkının enerjinin doğasından bağımsız olduğu noktasının anlaşılmasına yardım eder.

XX

Enerji ve Devinirlik İçin Relativistik Dönüşüm Yasası

Daha önceki bölümlerde verili bir nesnenin devinirlik ve enerjisinin (ve ayrıca enerjisi ile orantılı olan kütlesinin) şu formüllere göre o nesnenin hızına bağımlı olduğunu gördük:

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} = \frac{E_0}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \qquad (20\text{–}1)$$

$$\mathbf{p} = \frac{m_0 \mathbf{v}}{\sqrt{1-(\mathbf{v}^2/c^2)}} \qquad (20\text{–}2)$$

Şimdi varsayalım ki E ve $\mathbf{p}$ verili bir A gönderme çatısında biliniyor olsun. O zaman $\mathbf{x}$ ve t değerlerinin Lorentz dönüşümüne andırımlı olan ve A ile göreli olarak bir $\mathbf{V}$ hızında devinen bir başka B gönderme çatısında ölçüldükleri gibi E' ve $\mathbf{p}'$ değerlerini veren bir dönüşümünü bulabilir miyiz?

Problemi yalınlaştırmak için, kendimizi tek-boyutlu duruma (ki z yönünde olduğunu kabul edelim) sınırlayarak başlıyoruz. Varsayalım ki A gönderme çatısında E ve p verili olsun. Sonra B gönderme çatısında karşılık düşen E' ve p' değerlerini hesaplamayı istiyoruz. Cismin A gönderme çatısındaki hızı v ve B gönderme çatısındaki hızı v' olsun.

Bunu yaparken denklem (18–22) ile başlıyoruz. Bununla birlikte, dikkat edelim ki (18–15), (18–17) ve (18–19)'da v' simgesi A gönderme çatısı ile göreli olarak bir $V' = -V$ hızında devinen bir gönderme çatısında ölçüldüğü gibi nesnenin hızını belirtir. Denklemin her iki yanının karşılısını alarak ve $v' = -V$ yerdeğişimini yaparak şunu elde ederiz:

$$\frac{1}{\sqrt{1-(v_2'^2/c^2)}} = \frac{(1-v_1V/c^2)}{\sqrt{1-(v_1^2/c^2)}\sqrt{1-(V^2/c^2)}} \tag{20–3}$$

$E' = m_0c^2\sqrt{1-(v^2/c^2)}$, $E = m_0c^2\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ ve $p = m_0v\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ olduğu için, şunu elde ederiz:

$$E' = \frac{E - Vp}{\sqrt{1-(V^2/c^2)}} \tag{20–4}$$

Dahası, hızların toplamı için relativistik yasa yoluyla

$$v' = \frac{v - V}{1-(vV/c^2)}$$

öyle ki

$$p' = \frac{m_0v'}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} = \frac{m_0(v-V)}{\sqrt{1-(V^2/c^2)}\sqrt{1-(v^2/c^2)}} = \frac{p - VE/c^2}{\sqrt{1-(V^2/c^2)}} \tag{20–5}$$

(20–4) ve (20–5) denklemleri özsel olarak Lorentz dönüşümü (14–3) ile aynı ilişkilerdir, ve yalnızca p değeri x değerinin yerini ve E/c^2 ise t değerinin yerini almıştır. Öyleyse, bir cismin bir gönderme çatısındaki enerji ve devinirliği bir Lorentz dönüşümüne andırımlı bir dönüşüm yoluyla bir başka gönderme çatısındakilerden hesaplanabilir.

Bu uslamlama kolayca üç boyuta genişletilir. x ve y durumunda olduğu gibi, şunları elde ederiz:

$$P'_x = P_x \qquad P'_y = P_y \tag{20–6}$$

Vektör notasyonunda bu şuna döner:

$$E' = \frac{E - (\mathbf{V}\bullet\mathbf{p})}{\sqrt{1-(V^2/c^2)}} \tag{20–7}$$

$$\mathbf{p}' = \mathbf{p} - (\mathbf{p}\bullet\hat{V})(\hat{V}) + \frac{(\mathbf{p}\bullet\hat{V})\hat{V} - \mathbf{V}E/c^2}{\sqrt{1-(V^2/c^2)}} \tag{20–8}$$

ki burada $\hat{V}$ $\mathbf{V}$ yönünde bir birim vektördür.

Yukarıdan şu çıkar ki $s^2 = c^2t^2 - x^2 - y^2 - z^2$ aralığı için (1–7) anlatımının bir Lorentz dönüşümü altında değişimsizliğini gösteren aynı tanıtlama $E^2 - c^2p^2$ niceliği için de benzer bir değişimsizliği tanıtlamak için yeterli olacaktır.

Bu niceliğin ne demek olduğunu görmek için, onu içinde cismin dinginlikte ve böylece $p = 0$ olduğu bir gönderme çatısında hesaplayalım. O zaman, $E_0^2 - c^2p^2 = E_0^2 = M_0^2c^4$. Ama $E^2 - c^2p^2$ değişimsiz bir değerdir, ve böylece her gönderme çatısında aynı olmalıdır, ki şudur:

$$E^2 - c^2p^2 = m_0^2c^4 \tag{20–9}$$

Dinginlik kütlesi sıfır olduğu zaman özel bir durum doğar. Burada şunu elde ederiz:

$$E^2 - c^2p^2 = 0 \qquad (20\text{–}10)$$

Eğer z ekseninin yönünü $\mathbf{p}$'nin yönü olarak seçersek, şunu elde ederiz:

$$E = \pm cp_z \qquad (20\text{–}11)$$

İlginç nokta görelilik kuramının bir sıfır dinginlik kütleli parçacığın sıfır-olmayan bir enerji ve devinirliğinin olabileceğini imlemesidir. Bunun ne demek olduğunu görebilmek için, çok küçük bir m_0 dinginlik kütlesi olan bir parçacığı irdeleyelim, ve sonra m_0'ı sıfıra yaklaşmaya bırakalım. Eğer hızı v ise, enerji ve devinirliği şunlardır:

$$E = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \qquad p = \frac{m_0v}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \qquad (20\text{–}12)$$

Eğer v/c birden daha küçük bir değerde belirlenirse, m_0 sıfıra yaklaşırken, E ve p sıfıra yaklaşır. Ama eğer m_0 sıfıra yaklaşırken v/c yi bire yaklaşmaya bırakırsak, ve bu $m_0/\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ değerinin bir R değişmezine eşit kalacağı bir yolda olursa, o zaman şunları elde ederiz:

$$E \to RC^2 \qquad p \to RC \qquad E^2 - c^2p^2 \to 0 \qquad (20\text{–}13)$$

ki (10–10) ile uyum içindedir. Öyleyse, bir cisim *ancak ve ancak ışık hızı ile deviniyorsa* dinginlik kütlesinin sıfır olmasına karşın gene de sıfır-olmayan enerji ve devinirlik taşıyabilir.

Bu probleme bir başka bakış yolu da, eğer $m_0 \neq 0$ ise, o zaman bir parçacık ışık hızına doğru ivmelenirken, $E = m_0c^2\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ enerjisinin ve $p = m_0v\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ devinirliğinin sonsuzluğa yaklaştığını görmektir. Olgusallıkta ancak sonlu enerji ve devinirlik kaynakları olanaklı olduğuna göre, böyle bir parçacık hiçbir zaman edimsel olarak ışık hızına erişemez. Ama eğer $m_0 = 0$ ise, o zaman, gördüğümüz gibi, sonlu enerji ve devinirlik ile c hızında deviniyor olabilir.

Öyleyse, hiçbir nesnenin hiçbir zaman ışık hızında olamayacağı vargısı açıktır ki yalnızca dinginlik kütlesi sıfır-olmayan birşey için geçerli olabilir. Bununla birlikte, bir dinginlik kütlesi olmayan birşey *ancak* bir ışık hızında devim durumunda varolabilir. Böylece, denebilir ki hiçbirşey ışık hızına *ivmelendirilemezken*, gene de ışık hızında devinen şeyler olabilir, ve bu önceki ivmelendirmenin bir sonucu olarak değil, ama bu şeyler ancak o durumda varolabildikleri için böyledir.

Işık hızındaki devimin fiziksel anlamını daha sonra tartışacağız.

XXI

Bir Elektromanyetik Alanda Yüklü Parçacıklar

Daha önce gördük ki devinirlik, kütle ve enerji için relativistik anlatımlar Newton kuramında geçerli olanlardan bütünüyle ayrıdır ve ancak $v/c \to 0$ sınırında onlara indirgenebilir. Yalıtılmış bir dizge için, devim yasaları o zaman şu relativistik biçimi alır:

$$\frac{d\mathbf{p}}{dt} = 0 \qquad \mathbf{p} = m\mathbf{v} = \frac{m_0\mathbf{v}}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \tag{21–1}$$

Bunlara kütlenin sakınımı yasasını eklemeliyiz. Newton'ın kuramında bu m_i'nin, i sıralı cismin kütlesinin bir değişmez olduğu ya da $dm_i/dt = 0$ [denklem (18–3)] sayıltısında örtük idi. Bununla birlikte, Einstein'ın kuramında verili bir cismin kütlesi değişebilir. Ama $E = mc^2$ ilişkisine göre kütle ve enerji eşdeğerlidir. Öyleyse yalıtılmış bir dizgenin $M = \sum_i m_i$ bütünsel kütlesinin sakınımı ve $E = \sum_i E_i = \sum_i m_i c^2$ bütünsel enerjisinin sakınımı birinin ötekinden doğması anlamında özsel olarak aynı yasadır.

Sakınım yasası, $dM/dt = 0$, ya da almaşık olarak, $dE/dt = 0$, şimdi relativistik-olmayan $dm_i/dt = 0$ yasasının olduğu gibi dizgenin bütünsel enerjisinin sakınımı için relativistik-olmayan anlatımın da yerine geçer.

Şimdi bu yasaları yalıtılmamış bir dizgeye, e.d. üzerinde net bir **F** kuvvetinin etkide bulunduğu bir dizgeye genelleştireceğiz. Problemi yalınlaştırmak için, **v** hızı ile tek bir cisimden oluşan bir dizge düşünelim. O zaman geçici olarak şunları uygun relativistik yasalar olarak öneriyoruz:

$$\frac{d\mathbf{p}}{dt} = \mathbf{F} \tag{21–2}$$

$$\frac{dE}{dt} = \mathbf{F}\cdot\mathbf{v} \tag{21–3}$$

Bunlar Newton kuramında karşılık düşen anlatımların taşıdığı aynı *biçimleri* taşır. Ama fiziksel anlamları ayrıdır, çünkü $\mathbf{p}$ ve E şimdi Newton anlatımı yoluyla olmaktan çok $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$, $E = mc^2$ relativistik anlatımı ile tanımlanır ($m = m_0 / \sqrt{1-(v^2/c^2)}$ olmak üzere).

Bununla birlikte, açıktır ki her Lorentz gönderme çatısında biçimde değişimsiz kalan (e.d. aynı ilişkileri oluşturan) devim denklemleri elde etmek için $\mathbf{p}$ ve E'ye uygun birer relativistik tanım vermek yeterli değildir. Ayrıca $\mathbf{F}$ kuvvetini de öyle bir yolda tanımlamak zorunludur ki, gönderme çatısının hızından bağımsız olan aynı ilişki türünü anlatmalıdır. Şimdi bu gerçekte kuvvet için daha belirli anlatımlar bulununcaya dek yapılamaz—örneğin bir elektromanyetik alana, yerçekimine, ya da başka kuvvetlere bağlı olanlar gibi (örneğin çekirdek etkileşimlerinde doğanlar). Bu çalışmada gerçekte yalnızca elektromanyetik kuvvetleri tartışacağız ve devim denklemleri için değişimsiz ilişkilere götürdüklerini ayrıntıda göstereceğiz. Bununla birlikte, belirtilebilir ki bilinen özellikleri olan tüm kuvvetler benzer olarak değişimsiz devim denklemlerine götürecek bir yolda anlatılabilir, ama bildirimin tanıtlaması bu çalışmanın eriminin ötesindedir.[5]

Bir $\mathscr{E}$ elektrik alanı ve bir $\mathscr{H}$ manyetik alanı altında q yüklü bir cisim üzerindeki kuvvet şu denklem ile belirtilir:

$$\mathbf{F} = q\left(\mathscr{E} + \frac{\mathbf{v}}{c} \times \mathscr{H}\right) \tag{21–4}$$

Şimdi, $\mathbf{v} \cdot (\mathbf{v} \times \mathscr{H}) \equiv 0$ olduğuna dikkat ederek, böyle bir cisim için iyi bilinen Lorentz devim denklemlerini elde ederiz:

$$\frac{d\mathbf{p}}{dt} = q\left(\mathscr{E} + \frac{v}{c} \times \mathscr{H}\right) \tag{21–5}$$

$$\frac{dE}{dt} = q(\mathscr{E} \cdot \mathbf{v}) \tag{21–6}$$

Amaçlarımız için bunlar $d\mathbf{x}/dt = \mathbf{v}$ ile ayrışımlı biçimde daha uygun olarak anlatılabilir:

$$d\mathbf{p} = q\left(\mathscr{E}\, dt + \frac{d\mathbf{x}}{c} \times \mathscr{H}\right) \tag{21–7}$$

$$dE = q(\mathscr{E} \cdot d\mathbf{x}) \tag{21–8}$$

ki $d\mathbf{x}$ burada dt zaman aralığında cisim tarafından alınan uzaklık için vektördür.

Yukarıdaki yasaların ilkin elektronun $\mathbf{v}$ hızının c ile karşılaştırıldığında

[5]Henüz kendileri hakkında bu bakımdan çok az şeyin söylenebileceği kadar zayıf anlaşılan daha öte kuvvetler vardır (özellikle atom çekirdekleri arasındaki kuvvetler). Bununla birlikte, şimdilik bunların bir Lorentz dönüşümü altında değişimsiz *olmayan* devim denklemlerine götürdüğünü varsayımak için hiçbir neden yoktur.

küçük olduğu gönderme çatılarında geçerli olduğu gözlendi. Bununla birlikte, şimdi bu yasaları gönderme çatısının hızından bağımsız olarak geçerli kılan koşulları araştırıyoruz. Başka bir deyişle, eğer (21–7) ve (21–8) bir A gönderme çatısında geçerli ise, bir başka B gönderme çatısında gözlendikleri gibi $\mathscr{E}'$ ve $\mathscr{H}'$ niceliklerinin $\mathscr{E}$ ve $\mathscr{H}$ ile nasıl ilişkili olması gerektiğini bulmayı istiyoruz, öyle ki B gönderme çatısındaki denklemler yeni değişkenlerin terimlerinde anlatıldığında aynı biçimi taşısın.

$$d\mathbf{p}' = q\left(\mathscr{E}'dt' + \frac{d\mathbf{x}'}{c} \times \mathscr{H}'\right) \tag{21–9}$$

$$dE' = q(\mathscr{E}' \cdot d\mathbf{x}') \tag{21–10}$$

Şimdi $d\mathbf{p}'$ ve dE' değerlerini (20–7) ve (20–8) Lorentz dönüşümleri yoluyla $d\mathbf{p}$ ve dE terimlerinde, ve $d\mathbf{x}'$ ve dt' değerlerini benzer dönüşüm (15–12) yoluyla $d\mathbf{x}$ ve dt terimlerinde anlatıyoruz. Bunu yaparken karşılık düşen denklemlerin ayrışımlılarını alacağız ($\mathbf{V}$ ve $\hat{V}$ değişmez değerler olmak üzere). Böylece [$\gamma = 1/\sqrt{1-(V^2/c^2)}$ ile] şunu elde ederiz:

$$d\mathbf{p}' + (\gamma - 1)(\hat{V} \cdot d\mathbf{p})\hat{V} - \frac{\gamma \mathbf{V}}{c^2} dE = q\gamma\mathscr{E}'\left(dt - \mathbf{V} \cdot \frac{d\mathbf{x}}{c^2}\right)$$
$$+ \frac{q}{c}(\gamma - 1)(\hat{V} \cdot d\mathbf{x})(\hat{V} \times \mathscr{H}') + \frac{q}{c}\gamma dt(\mathbf{V} \times \mathscr{H}') \tag{21–11}$$

$$\gamma(dE - \mathbf{V} d\mathbf{p}) = q\mathscr{E}' \cdot d\mathbf{x} + q(\gamma - 1)(\mathscr{E}' \cdot \hat{V})(\hat{V} \cdot d\mathbf{x}) - \gamma(\mathscr{E}' \cdot \mathbf{V})dt \tag{21–12}$$

dE ve $d\mathbf{p}$ yerine (21–7) ve (21–8) geçirildiğinde şunu elde ederiz:

$$d\mathbf{p} + (\gamma - 1)(\hat{V} \cdot d\mathbf{p})\hat{V} - \frac{\gamma \mathbf{V} dE}{c^2} = q\left(\mathscr{E}\, dt + \frac{d\mathbf{x}}{c} \times \mathscr{H}\right)$$
$$+ q(\gamma - 1)\left[\hat{V} \cdot \mathscr{E}\, dt + \hat{V} \cdot \left(\frac{d\mathbf{x}}{c} \times \mathscr{H}\right)\right]\hat{V} - \frac{\gamma}{c^2}\mathbf{V}(\mathscr{E} \cdot d\mathbf{x}) \tag{21–13}$$

$$\gamma(dE - \mathbf{V} \cdot d\mathbf{p}) = q\gamma\left[\mathscr{E} \cdot d\mathbf{x} - (\mathbf{V} \cdot \mathscr{E})dt - \frac{\mathbf{V}}{c} \cdot (d\mathbf{x} \times \mathscr{H})\right] \tag{21–14}$$

(21–11) ve (21–12) denklemleri birlikte [$\mathbf{V} \cdot (d\mathbf{x} \times \mathscr{H}) = -(\mathbf{V} \times \mathscr{H}) \cdot d\mathbf{x}$ ile] şunu verir:

$$\left[\mathscr{E}' + (\gamma - 1)(\mathscr{E}' \cdot \hat{V})\hat{V} + \gamma\mathscr{E} + \gamma\left(\frac{\mathbf{V}}{c} \times \mathscr{H}\right)\right] \cdot d\mathbf{x} + \gamma(\mathscr{E}' - \mathscr{E}) \cdot \mathbf{V} dt = 0 \tag{21–15}$$

Şimdi, yukarıdaki denklem keyfi parçacık hızı $\mathbf{v} = d\mathbf{x}/dt$ için doğru olmalıdır. Bu nedenle $d\mathbf{x}$ ve dt değerlerinden bağımsız olarak geçerli

olmalıdır. Okur bunun olanaklı olması için $d\mathbf{x}$ ve dt katsayılarının ayrı ayrı sıfır olmaları gerektiğini ya da şu koşulun geçerli olması gerektiğini kolayca doğrulayacaktır:

$$(\mathscr{E}' - \mathscr{E})\cdot\mathbf{V} = 0$$

$$\mathscr{E}' - \gamma\mathscr{E} - (\mathscr{E}'\cdot\hat{V})(\hat{V}) + \gamma(\mathscr{E}'\cdot\hat{V})\hat{V} + \gamma\left(\frac{\mathbf{V}}{c}\times\mathscr{H}\right) = 0 \qquad (21\text{–}16)$$

Şimdi $\mathscr{E}$, $\mathscr{H}$ ve $\mathscr{E}'$, $\mathscr{H}'$ alan niceliklerini **V**'ye koşut olan $\mathscr{E}_1$, $\mathscr{E}_1'$, $\mathscr{H}_1$, $\mathscr{H}_1'$, ve **V**'ye dikey olan $\mathscr{E}_2$, $\mathscr{E}_2'$, $\mathscr{H}_2$, $\mathscr{H}_2'$ bileşenlerinin terimlerinde anlatmak uygun olacaktır. $(\mathscr{E}' - \mathscr{E})\cdot V = 0$'dan $\mathscr{E}_1' = \mathscr{E}_1$ sonucu çıkar. $\mathscr{E}_1' - (\mathscr{E}_1'\cdot\hat{V})(\hat{V}) = 0$ ve $\mathscr{E}_2'\cdot\hat{V} = 0$ olduğu için, [$\mathscr{E}_1'\cdot\hat{V} = \mathscr{E}'\hat{V}$ ve $\mathscr{E}_1 = (\mathscr{E}_1'\cdot\hat{V})(\hat{V})$ kullanılarak] şu elde edilir:

$$\mathscr{E}_2' = \gamma\left(\mathscr{E}_2 + \frac{\mathbf{V}}{c}\times\mathscr{H}_2\right) \qquad (21\text{–}17)$$

(21–11) ve (21–13) denklemleri ile benzer işlemleri yaparak, okur şu karşılık düşen denklemleri elde ettiğimizi doğrulayabilir:

$$\mathscr{H}_1' = \mathscr{H}_1 \qquad (21\text{–}18)$$

$$\mathscr{H}_2' = \gamma\left(\mathscr{H}_2 + \frac{V}{c}\times\mathscr{E}_2\right) \qquad (21\text{–}19)$$

$\mathscr{E}'$ ve $\mathscr{H}'$ için denklemler şu kümeye bileştirilebilir:

$$\mathscr{E}' = (\mathscr{E}\cdot\hat{V})(\hat{V}) + \gamma\left[\mathscr{E} - (\hat{V}\cdot\mathscr{E})\hat{V} + \frac{\mathbf{V}}{c}\times\mathscr{H}\right] \qquad (21\text{–}20)$$

$$\mathscr{H}' = (\mathscr{H}\cdot\hat{V})(\hat{V}) + \gamma\left[\mathscr{H} - (\hat{V}\cdot\mathscr{H})\hat{V} - \frac{\mathbf{V}}{c}\times\mathscr{E}\right] \qquad (21\text{–}21)$$

Yukarıdaki denklemler $\mathscr{E}$ ve $\mathscr{H}$ için gönderme çatısının hızından bağımsız olarak yüklü bir parçacık için aynı devim denklemlerine [(21–7)'den (21–10'a)] götürecek olan dönüşüm yasalarını tanımlar.

Belirtmek gerek ki (21–20) ve (21–21) dönüşüm ilişkilerinin Maxwell denklemleri için değişimsiz bir biçime götürdüğü de gösterilebilir. (Bunu yapmak bu çalışmanın alanının ötesindedir, ama bu nokta üzerine daha öte bir çalışma için bkz. C. C. Moller, *The Theory of Relativity*, ve W. Panofsky ve M. Phillips, *Classical Electricity and Magnetism.*) Öyleyse, yerine getirilmiş olan şey elektromanyetik yasalarının (Maxwell'in denklemlerinin) ve elektromanyetik bir alanda yüklü bir parçacığın devim yasalarının her ikisinin de değişimsiz bir biçimde (e.d. Lorentz dönüşümleri yoluyla bağıntılanan tüm gönderme çatılarında aynı ilişkiler kümesi olarak) anlatılabileceğinin tanıtlamasıdır.

Son olarak, belirtmek gerek ki $\mathscr{E}$ ve $\mathscr{H}$ için dönüşüm yasaları elektrodinamik yasalarının bir irdelemesinden beklenecek türde sonuçlar verir. Böylece Faraday'ın indüklenme yasası bir **V** hızı ile bir $\mathscr{H}$ manyetik

alanı içinden geçen bir telin onda $\mathbf{V}$ ile ve $\mathscr{H}$ alanı ile orantılı ama her ikisine de dikey bir emk indükleyeceğini imler. (21–20) ve (21–21) denklemleri özsel olarak aynı vargıyı anlatır. Böylece, eğer A gönderme çatısında $\mathscr{E} = 0$ ve $\mathscr{H} \neq 0$ ise, o zaman $\mathbf{V}$ hızı ile devinen ve içinde telin dinginlikte olduğu B gönderme çatısına geçtiğimizde, $\mathscr{E}' = \gamma[(\mathbf{V}/c) \times \mathscr{H}]$ elde edeceğiz. O zaman emk (üzerinde telin dinginlikte olduğu gönderme çatısında gözlendiği gibi) $\mathscr{E}'$ ile orantılı olacaktır.

Benzer olarak, eğer A gönderme çatısında $\mathscr{H} = 0$ ve $\mathscr{E} \neq 0$ ise, o zaman (21–18) ve (21–19) A ile göreli olarak $\mathbf{V}$ hızında devinen bir gönderme çatısında bir $\mathscr{H}' = -\gamma[(\mathbf{V}/c) \times \mathscr{E}]$ manyetik alanının ortaya çıkacağını imler. Bunun Maxwell'in "yerdeğişim akımı"na, $\mathbf{j}_d = (c/4\pi)(\partial\mathscr{E}/\partial t)$, eşdeğer olan sonuçlara götüreceği gösterilebilir, ki statik bir elektrik alanı içinden geçen bir nesnenin, içinde dinginlikte olduğu gönderme çatısında, karşılık düşen bir manyetik alan ile karşılaşacağını imler (ki, örneğin, eğer nesne kendini bu "indüklenmiş" manyetik alan ile ilişki içinde yönlendirme eğilimindeki bir manyetik dipol olsaydı gösterilebilirdi).

XXII

Özel Görelilikten Yana Deneysel Kanıt

Burada özel görelilik kuramını doğrulayan deneysel kanıtı kısaca gözden geçireceğiz. Bunu yaparken özel göreliliğin iki noktaya bağımlılığının belirleyici olduğunu göz önünde tutmalıyız.

1. Fizik yasalarının gönderme çatısının hızından bağımsız olarak her zaman *aynı ilişkiler* olduğunu ileri süren *görelilik ilkesi;* ve

2. Ayrı ama biçimdeş hızlarda devinen iki gönderme çatısı arasındaki *ilişkinin anlatımının* bir Lorentz dönüşümü olarak verilmesi.

Görelilik ilkesini doğrulayan deneysel kanıt, hiçbir alanda hiç kimsenin şimdiye dek fizik yasalarının biçimlerinin gönderme çatısının hızı üzerine herhangi bir bağımlılığını keşfetmemiş olması anlamında, gerçekten de güçlüdür. Buna göre kendimizi burada Lorentz dönüşümünü doğrulayan kanıtın tartışmasına sınırlayacağız.

Ether kuramını tartışmamızda (bkz. Bölüm 9) Lorentz dönüşümünün tam olarak üç etkinin bir bileşimine eşdeğer olduğunu gördük:

1. Devinen bir nesnede $\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ oranında Lorentz kasılması.

2. Devinen bir saatin döneminde $1/\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ oranında uzama.

3. Bir $\mathbf{x}$ uzaklığı kadar ayrı olan iki eşdeğer devimli saatin okumalarında $\Delta t = (\mathbf{v}\bullet\mathbf{x}/c^2)/\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ kadar bir değişme.

Bu hiç kuşkusuz böyle devinen iki saatin ayrıldıktan sonra aynı zamanı göstermedikleri anlamına gelir, üstelik birbirlerine bitişik iken eksiksiz bir senkronizasyon içinde olmuş olmalarına karşın.

Bölüm 6'da gösterildiği gibi, Michelson-Morley deneyi Lorentz kasılmasının çok güzel bir doğrulaması olarak görülebilir. Işık hızının Bölüm 7'de tartışıldığı gibi Fizeau yönteminin eşdeğeri tarafından daha modern ve çok sağın ölçümleri Lorentz kasılmasının ve saat dönemlerindeki değişmenin bileşimi üzerine bağımlıdır. Lorentz dönüşümünün

kendisinin sağlaması daha önce Michelson-Morley deneyi tarafından yapıldığı için, Fizeau yöntemini Lorentz dönüşümü tarafından tahmin edildiği gibi saatlerin işleyiş oranlarında devim hızları ile birlikte bir değişim olduğunu doğruluyor olarak görebiliriz. Bununla birlikte, saatlerin işleyiş oranındaki değişimin daha doğrudan doğrulaması vardır. Böylece Bölüm 16'da hızla devinen mezonların ortalama bozulma süreleri üzerine gözlemleri ve ışık için kaynağın devim yönüne dik olarak görülen Doppler kaymasını tartıştık, ve bunların her ikisi de devinen saatler için gözlemlenmesi gereken dönem artışları ile ilgili Lorentz dönüşümünün tahminlerinin çok tam doğrulamasını sağlamıştır.

Ayrılmış saatlerin eş-zamansızlıkları üzerine geri kalan tahminin doğrudan deneysel doğrulamasını elde etmek biraz daha güçtür. İlk bakışta öyle görünür ki bu hızların toplamı için türetilmesi (15–6) formülüne bağımlı olan relativistik yasanın (15–7 ve 15–8) irdelemesi yoluyla sınanabilir (yasa tam olarak tartışılan türden saatlerin eş-zamansızlık özelliğini anlatır). Bu yasa örneğin Bölüm 17'de betimlendiği gibi ışık hızının akan suda ölçümü yoluyla oldukça doğru olarak doğrulanmıştır. Ne yazık ki böyle bir sınama imleminde ikircimsiz değildir, çünkü, gösterilebileceği gibi (örneğin bkz. C. C. Moller, *The Theory of Relativity*), olanaklı deneylerin sağınlık düzeyinde, relativistik-olmayan elektromanyetik fenomen kuramlarının relativistik kuramlar ile aynı sonuçları vermesi sağlanabilir. Bir sonuç olarak, akan suda ışık hızını ölçme deneylerinin göreliliğin tahminleri ile anlaşması devinen saatlerin senkronize-olmamaları üzerine formüllerin doğru olduğunu *kesin olarak* tanıtlamaktan uzaktır, çünkü elektromanyetik süreçleri ilgilendiren başka sayıltılar özsel olarak aynı sonuca götürebilir.

Bu nokta üzerinde aşağı yukarı kesin doğrulama sunan bir başka yaklaşım çizgisi Bölüm 8'in sonuçları yeniden irdelenerek elde edilebilir. Orada denklem (8–8)'e götüren gelişmede gösterdik ki, bir kez saatlerin yavaşlaması için $T = T_0/\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ formülünü kabul edersek, bundan zorunlu olarak çıkan sonuç başlangıçta senkronize iki devinen saatin ayrılınca (yavaşça ve sarsıcı devimler olmaksızın) senkronizasyondan $[l_0 v/c^2]/[\sqrt{1-(v^2/c^2)}]$ kadar uzaklaşacağıdır. Bu vargı yalnızca ayrılmakta olan saatlerin değişik hızlarda işlemek zorunda olmaları olgusunun bir sonucudur; ve *açıktır ki bir ether önsavından bütünüyle bağımsız olarak doğar.* Deney daha şimdiden $T = T_0/\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ formülünü doğruladığına göre, Lorentz dönüşümünün eşdeğer saatlerin senkronizasyondan $[l_0 v/c^2] = [\sqrt{1-(v^2/c^2)}]$ kadar uzaklaşacağı tahmini özsel olarak doğrulanmış görünür.

Yukarıdaki tahmin üzerine bir sağlama yapmanın daha doğrudan bir yolu daha önce Bölüm 10'da önerilmiştir: Işık hızı ışığın *A* ve *B* gibi iki nokta arasını geçmek için aldığı $t_A - t_B$ zamanı temelinde ölçülebilir (burada t_A ve t_B zamanları ilkin senkronize edilen ve sonra birbirlerinden ayrılan eşdeğer sezyum saatlerinden okunmak üzere). Bu deney belki de çok yakında uygulayımsal olarak olanaklı olabilir. Bununla birlikte,

Bölüm 10'da belirtildiği gibi, sonuçların bir Lorentz dönüşümünün yardımıyla tahmin edilenlerden ayrı olacağını beklemek için çok az neden var görünür.

Einstein'ın kuramının kütle ve enerji eşdeğerliği açısından tahminleri öylesine tam olarak doğrulanmıştır ki bu noktanın daha öte tartışılması gereksiz görünür. Bu bakımdan, giderek enerji ve devinirliğin Lorentz dönüşümünü anlatan ayrıntılı (20–4), (20–5) ve (20–6) ilişkileri bile örneğin laboratuardaki ivmelendiricilerde üretilen ve kozmik ışınlarda doğal olarak karşılaşılan türden çok yüksek enerjili parçacıkların çarpışmalarının incelemesinde doğrulanmıştır.

Benzer olarak, devinen yüklü bir parçacık için (21–2) ve (21–3) Lorentz denklemlerinin değişimsizliği giderek v/c bire yakın olduğu zaman bile doğrulanmıştır, ve bu arada elektromanyetik alan için dönüşüm yasaları da, (21–20) ve (21–21), deneysel olarak çok iyi doğrulanır.

Özel görelilik kuramını doğruluyor olarak alıntıladığımız deneysel kanıt gerçekten de çok güçlü görünür. Bunun yanında, burada tartışmadığımız çok büyük bir sayıda ek kanıt vardır. Dahası, bu kanıtın büyük bir bölümünün, özellikle kuramın yeni olduğu ve genel olarak kabul edilmediği erken günlerde, en azından kuramı yakından yoklamak ve sınamak ve eğer olanaklıysa çürütmek için tasarlanan deneylerden geldiği göz önünde tutulmalıdır. Böyle yoklama ve eleştirilere dayanma ve ayrıca verimli olarak birçoğu önceden beklenmeyen yeni sonuçlara götürme yeteneği karşısında, denebilir ki görelilik kuramı şimdi fiziğin bugün bilinen tüm yanları denli iyi doğrulanmıştır.

Tüm bunlara karşın, bilimdeki her kuram için geçerli olduğu gibi, görelilik kuramının çelikten bir pekinlik olduğu sanılmamalıdır—bir pekinlik ki sorgulanmaması gerekecek ve hiçbir zaman belli bakımlardan yanlış olduğu, olgulara ancak sınırlı bir yaklaşıklık sunduğu ya da başka nedenlerden ötürü sınırlı bir geçerlikte olduğu gösterilemeyecektir. Örneğin bugün bile görelilik kuramının (hem özel hem de genel) çok küçük ("öğesel" parçacığın varsayılan büyüklüğünden de küçük) uzaklıkların alanına uygulandığında yanlış olabileceğinden kuşkulanan oldukça yüksek bir sayıda bilim insanı vardır. Bundan başka, öyle görünür ki görelilik kuramının evrenin varsayılan "büyüklük" düzeninden aşırı ölçüde büyük uzaklıklara ("kızıla kayma"nın belirgin olduğu yerlere) uygulandığı zaman yeterli olmayabileceği kuşkusunu duymak için nedenler vardır. Ek olarak, görelilik kuramı pekala çok daha başka nedenlerden ötürü çökebilir. Bu nedenle, özellikle yeni bir fenomenler alanına girerken, görelilik kuramını deneysel bir yolda uygulamak, uyanık olup onu eleştirmeye hazır olmak ve eğer gerekirse yerine daha yakından doğru olan bir kuramı geçirmek zorunludur—bir kuram ki, görelilikten tıpkı göreliliğin Newton mekaniğinden ayrı olması denli kökten ayrı olabilir.

XXIII

Bir Kez Daha Kütle ve Enerji Eşdeğerliği Üzerine

Görelilik kuramından doğan kütle ve enerji eşdeğerliği eski klasik kavramlar ile öylesine geçimsizdir ki, bu olgunun genel imlemleri biraz ayrıntıda tartışmaya değer görünür. Gerçekten de, deneyim öğrencilerin sık sık Einstein'ın kütle ve enerji kavramlarının tam imlemlerini anlamada belirgin güçlükler yaşadığını gösterir. Doğan tipik sorular şunlardır: "Kütle enerji ile aynı şey midir?" "Evren yalnızca enerjiden mi oluşur?" "Eğer kütle enerjiye ve enerji kütleye dönüşebilirse kütle nedir?" Ve aslında, "*Enerji* nedir?"

İyi tanımlı ve değişmez bir kütlesi olan bir cisim gibi ortak bir kavramın nereden geldiğini irdeleyerek başlayalım. Bu düşünce açıktır ki dünyanın büyüklük, şekil, ağırlık vb. açısından karşılaştırılabilecek ve örneğin kaya, toprak, su, metal, tahta vb. gibi belli tözlerin belirli nicelik ya da kütlelerinden oluşmuş olarak görülebilecek büyük bir sayıda nesne ve kendilik kapsadığı gözlemi üzerine dayanır. Hiç kuşkusuz, bu tözlerin aşındıklarını, dağıldıklarını, eridiklerini, paslandıklarını, çürüdüklerini, buharlaştıklarını ve gaz olup gittiklerini buluruz. Böylece açıktır ki gerçekte bireysel olarak kütlede sürekli ya da değişmez değildirler, gerçi böyle özelliklerde kimileri kısa zaman dönemleri için, kimileri ise daha uzun zaman dönemleri boyunca gözardı edilebilecek görülebilir değişimlere uğrayabilse de.

Bununla birlikte, düşünce tarzımızın öyle bir doğası vardır ki, her nasılsa bir yerde herşey için saltık olarak sürekli bir temelin olması gerektiğine inanıyor görünürüz.

Örneğin erken bilimciler atomların saltık olarak kalıcı kendilikler, evrenin temel "oluşturucu blokları" olduğunu sandılar, ve buna göre

büyük-ölçek özdeğin her zaman değişmekte olan görüngüleri sürekli atomik bileşenlerinin temelde yatan devimlerinin sonuçlarından başka birşey değilmiş gibi görüldü. Ama daha sonra atomlar devinen "öğesel parçacık" (elektronlar, protonlar, ve nötronlar) yapılarından oluşmuş olarak görüldü, ve bundan atomların değiştirilebilir, başka atomlara dönüştürülebilir, birleştirilebilir ya da parçalanabilir olduğu sonuçları çıkarıldı. Bununla birlikte, o zaman saltık olarak sürekli olan başka birşeyin, e.d. öğesel parçacıkların olduğu varsayıldı. Ama gördüğümüz gibi, nükleer ve başka türden öyle süreçler bulunmuştur ki bunlarda giderek bu parçacıklar bile karşılık düşen enerji miktarlarının salınışı ya da soğruluşu ile birbirlerine dönüştürülür ve ortadan kaldırılır ve yaratılır. Böylece bir kez daha saltık olarak sürekli kendilikler ve tözler için arayış boşa çıkmıştır. Tersine, açıktır ki hem sıradan deneyimde hem de bilimsel araştırmalarda edimsel olarak deneyimlediğimiz, algıladığımız, gözlemlediğimiz nesneler, kendilikler, tözler vb. her zaman (şimdiye dek) kendilerini özelliklerinde ancak *göreli olarak değişimsiz* olarak göstermiş, ve bu göreli değişimsizlik sık sık yanlışlıkla saltık süreklilik olarak alınmıştır.

Eğer insanlık şimdiye dek hiçbir zaman saltık olarak sürekli herhangi birşey ile karşılaşmamışsa, o zaman bu düşünce nereden gelir—bir düşünce ki her keresinde onu eldeki olgulara aykırı gösteren yeni deneyimlere ve gözlemlere karşın sürekli olarak geri dönen bir diretkenliği vardır. Bebeklerde ve küçük çocuklarda nesne kavramının gelişimine ilişkin araştırmaları irdeleyerek bu soru üzerine belli bir ışık düşürülebilir. (Bu araştırmalar onların uzay ve zaman kavramlarının gelişimi üzerine incelemelerin yanısıra yürütülmüştür, ve Ek Bölümünde daha ayrıntılı olarak tartışılacaklardır.) Varolan kanıt çok küçük bebeklerin sürekli bir nesne kavramını edimsel olarak taşımadığını gösterir. Tersine, nesneler ile ilgili davranışları bebeklerin nesneleri ilk görüldüklerinde varoluşa geliyor ve algı alanından yittikleri zaman varoluşun dışına çıkıyor olarak gördüklerini imler. Bebek onun tarafından algılanmadığı zaman bile varolan bir nesnenin kavramını ancak aşamalı olarak oluşturur. Sürekli bir özdek *niceliği* kavramı daha da sonra gelişir; ve giderek üç ya da dört yaşındaki çocukların bile bu soru üzerine kafaları çoğunlukla oldukça karışıktır. Ama zamanla kavram oluşur, ve sonunda alışkısal olur, öyle ki her alanda değişmez özellikli cisim, kendilik ya da tözler ararız, ve giderek sürekli kendiliklerin ya da tözlerin belli türlerinden oluşmuş olmayan bir dünya imgeleyemeyeceğimizi duyumsamaya bile başlarız.

Saltık olarak sürekli kendilik türlerinin olması gerektiği kavramı yalnızca yukarıda betimlenen yolda erken çocuklukta başlayan düşünce alışkanlıkları üzerine dayanmakla kalmaz. Benzer saltık uzay ve zaman kavramları durumunda olduğu gibi, en azından bölümsel olarak, sıradan dilimizin yapısından da köken alır. Böylece *göreli olarak değişimsiz* özellikleri olan birşey gördüğümüz zaman ona bir ad veririz. Ama nes-

nenin değişmesine karşın bu ad aynı kalır. Aynı adı taşıdığı için, onu aynı şey olarak düşünme eğilimini gösteririz. Aşırı bir durum bir insanın durumudur. Her bir kişi 10, 20 ya da 30 yıl önce taşıdığı aynı adı taşır. Gene de açıktır ki hem fiziksel hem de ansal olarak çok değişik bir kimsedir. Gerçekte, dün ya da giderek bir dakika önce olduğundan bile ayrıdır. Benzer olarak, bir metal parçası her zaman değişmekte, atomları devinmekte, oksitlenmekte, metal yorgunluğuna uğramaktadır vb. Belli sınırlı bağlamlarda ve kısa zaman dönemleri için, bu değişimler gözardı edilebilir. Böylece bir nesnenin adının değişmezliği onun ancak belli bir sınırlı alan içinde yeterli bir kavramına götürür. Güçlüklerimizin doğmasının nedeni geriye insan soyunun dil kullanımının en başına (ve ayrıca her bireyin çocukluğundaki başlangıçlarına) giden bir alışkanlıktan ötürü şeyleri *özdeşleştirmemizdir;* e.d. bilinçsizce aynı adı olan herşeyin en azından özünde aynı şey olduğunu varsaymamızdır.

Şimdi fizikte kütle ve enerji problemine dönelim. Sıradan deneyimde gözlenen belli özelliklere "kütle" adını verdik. Bu özelliklere o zamandan bu yana fizikte daha inceltilmiş anlamlar verildi. "Özdeğin sürekli tözünün niceliği" biçimindeki sıradan kavrama göndermede bulunmanın yanısıra, kütle fizikte daha sağın olarak tanımlanan iki özelliğe göndermede bulunur. Bunlardan biri süredurum, ya da ivmeye direnç, ve öteki ise yerçekimidir.

Kütlenin *süredurum yanını* tartışarak başlayacağız. Newton mekaniğinde, $m\mathbf{a} = \mathbf{F}$ denklemi bir nesneye belirli bir ivme vermek için gereken kuvvetin nesnenin kütlesi ile orantılı olduğunu imler. Ama eğer bu kütle bir değişmez olmasaydı olağan imlemini taşımazdı. Başka bir deyişle, Newton'ın (18–1) ve (18–2) denklemleri (18–3) denklemi olmaksızın, e.d. $(dm/dt) = 0$, ya da 'm = değişmez' olmaksızın tanımlanmaz. Bu son denklemin önemi yalnızca kütleyi tözlerin "sürekli" bir özelliği olarak düşünme biçimindeki gündelik alışkanlığımızdan ötürü sık sık gözden kaçırılır. Bununla birlikte, gerçekte sıradan kütle *düşüncesinden* kuvvet ve verili bir nesnenin ivmesi arasındaki m orantılılık etmeninin değişmezliğini bilmemiz söz konusu değildir. Tersine, bu orantılılık etmeninin Newton mekaniğinin alanına göndermede bulunan tüm deneylerde *değişimsiz* bir değer olması bir gözlem olgusudur.

Fizikte bir nesnenin kütlesinin ikinci önemli belirişi kütlenin o nesne ile bir başka nesne arasındaki yerçekimi kuvveti yasasında, $F = Gm_1m_2/r^2$, kendini gösteren değişmez bir orantılılık etmeni olarak bulunmasıdır (formülde r nesneler arasındaki uzaklık ve G yerçekimi değişmezidir). Önemli daha öte bir olgu bugüne dek yapılmış tüm deneylerde yukarıdaki denklemde görünen kütlenin her zaman devim denklemlerinde görünen süredurum kütlesi ile orantılı olmuş olmasıdır. Yerçekimi kütlesi ve süredurum kütlesi arasındaki oranın bu değişmezliğinden ötürü, onları *özdeşleştirme* eğilimine gireriz; eş deyişle, onlara aynı adı vermeye ve dolayısıyla onları aynı şey olarak görmeye götürülürüz. Bunu yaparken, yerçekimi kütlesinin ve süredurum kütlesinin sağın fiziksel

anlamlarını bilinçsizce "özdeğin sürekli tözünün niceliği" olarak sıradan kütle kavramı ile değiştirmemiz de çok olasıdır.

Relativistik büyük v/c alanında, Newton'ın devim yasalarının (Bölüm 20'de gördüğümüz gibi) Einstein'ın şu yasaları ile değiştirilmesi gerektiğini bulduk:

$$\frac{d\mathbf{p}}{dt} = \mathbf{F} \qquad \text{ki burada} \qquad \mathbf{p} = \frac{m_0\mathbf{v}}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} = m\mathbf{v}$$

Kütle öyleyse bundan böyle daha geniş alanda değişimsiz değildir. Böylece açıktır ki kütle gerçekte yalnızca değişimlerinin ancak Newton alanında gözardı edilebileceği anlamında *göreli olarak değişimsizdir.*

Kütlenin yerçekimi yanını ilgilendiren problem özel görelilik kuramında ele alınamaz; genel kuramı gerektirir. Ama burada genel kuramda Einstein'ın yerçekimi kütlesi ve süredurum kütlesi arasında şimdiye dek gözlenmiş olan sağın orantılılığı bu iki kütle türünün *hem* süredurum fenomenlerini *hem de* yerçekimi fenomenlerini kucaklayan daha geniş bir kavramlar ve yasalar kümesinin ayrı ama ilişkili yanlarını temsil ettiğini imliyor olarak gördüğünü kısaca belirtmek yeterli olacaktır. Einstein bu anlayışı koordinat çatısının ivmesinin etkileri ve bir yerçekimi alanının etkileri arasındaki "eşdeğerlik ilkesinde" somutlaştırır. Burada eşdeğerlik kavramının kütle ve enerji "eşdeğerliğinde" doğan anlama benzer bir anlamı vardır; e.d. iki ayrı nicelik arasındaki özünlü bir ilişkiye göndermede bulunur ve birinin zorunlu olarak öteki ile orantılı olduğunu imler. Bu temelde Einstein yerçekimi kütlesini ve süredurum kütlesini sonuçta temelde yatan ve genel görelilik yasaları tarafından ele alınan tek bir sürecin değişik yanları olarak açıklayan tutarlı ve birleşik bir kuram geliştirmeyi başardı. Sınırlı görelilik kuramı hiç kuşkusuz genel görelilik kuramının özel ve yaklaşık bir sınırlayıcı durumudur, tıpkı aşağı yukarı Newton mekaniğinin de özel göreliliğin karşılık düşen sınırlayıcı ve yaklaşık bir durumu olması gibi.

Açıkça göründüğü gibi aynı "kütle" adını Newton fiziğinin alanı dışına çıktığımız ölçüde büyük ayrımlar kazanan özelliklere uygulamayı sürdürmekteyizdir. Gerçekten de, relativistik alanda bir cismin kütlesi değişimsiz olmadığı için, bundan şu çıkar ki relativistik kütle kavramı "özdeğin sürekli tözünün niceliği" olarak sıradan kütle kavramı ile çelişir. Bu sıradan kavram yalnızca Newton fiziğinin alanında doğru olarak uygulanabildiği için, bundan şu çıkar ki görelilik kuramında "kütle" sözcüğünü her günkü sıradan anlamı ile bağdaşabilir olmayan bir anlamda kullanmaktayızdır. Tersine, görelilik kuramında kütle yalnızca süredurum ve yerçekimi yasalarına giren belli orantılılık etmenlerine göndermede bulunur.

Bu bağıntıda, her durumda sıradan kütle kavramının kaçınılmaz bir kavram olmadığını, ama insan soyunun gelişiminde oluşturulmuş olduğunu, ve her çocuk tarafından alışkısal olacağı ve o zaman başka türlü olamayan zorunlu bir düşünce olarak görüneceği bir dereceye dek öğrenildiğini anımsamak önemlidir. Sıradan uzay ve zaman kavram-

ları durumunda olduğu gibi, bu düşünce alışkanlıkları belli bir sınırlı alanda yeterli görünür. Bununla birlikte, bu alışkanlıkları onları uygun gören alanların ötesinde sürdürmemek önemlidir.

Şimdi enerjinin anlamının ne olduğunu irdeleyelim. Fizikte, enerji başlangıçta "devim niceliği" olarak tanımlandı; ama bu o günlerde "gerçek" devim niceliğinin ne olduğu, enerji mi yoksa devinirlik mi olduğu konusunda büyük tartışmalara götürdü. O günden bu yana, bu tartışmanın anlamsız olduğu görülmüştür, çünkü benzersiz bir "devim niceliği" diye birşey yoktur. Dahaçok, enerji ve devinirlik her ikisi de *değişimsiz fonksiyonlardır,* şu anlamda ki bu niceliklerin toplamı, yalıtılmış bir dizgenin tüm bileşen parçalarını kucaklayan bir toplam olarak, zamanla değişmez.

Bir dizgenin değişik parçaları etkileşimde bulunurken aralarında bir enerji (ve devinirlik) değiş-tokuşu vardır. Bu süreçte bütünsel nicelik saklanır, ama her bir parçanın enerjisi hiç kuşkusuz değişecektir. Salt bu nedenle bir dizgenin bütünsel enerjisi yalnızca *göreli olarak değişimsiz* bir fonksiyondur ki, söz konusu dizge yalıtıldığında değişmez iken, çevresi ile etkileşime getirildiğinde böyle değildir.

Etkileşimler yalnızca mekanik değiş-tokuşları değil ama ayrıca enerjinin ayrı biçimlere değişimlerini de içerebilir. Böylece, mekanik enerji eşdeğer bir elektrik enerjisi miktarına dönüştürülebilir, ve evrik olarak; ve bu arada bu her iki enerji türü ve eşdeğer ısı nicelikleri arasında karşılıklı dönüşüm için benzer bir olanak vardır (ısı rasgele moleküler devimin enerjisidir, ve moleküler devim büyük-ölçek düzey söz konusu olduğu ölçüde dengeye gelir). Eşdeğer miktarlarda olan değişik biçimler arasındaki bu dönüşebilirlik gerçekten de fizikte enerjinin en karakteristik yanıdır.

Yalıtılmış bir dizgenin bütünsel enerjisi saklandığı için, bizim payımıza onu dizgenin bir parçasından bir başkasına doğru bir sıvı gibi akan *sürekli bir töz* olarak düşünme eğilimi vardır. Ama şimdiye dek hiç kimse böyle bir tözü algılamış ya da herhangi bir yolda gözlemiş değildir. Dahaçok, enerji her zaman bir devimdeki *göreli olarak değişimsiz bir fonksiyon* olarak görünür. Böylece, yalıtılmış bir cisim için, $mv^2/2$ fonksiyonu cisim yalıtılmış olduğu sürece değişmez kalması ve etkileşime yetenekli cisimlerin bir dizgesinde cisimlerin enerjilerinin toplamının değişmez kalması anlamında böyle bir değişimsizdir (oysa, örneğin, $m_2v^5/2$ bu özellikleri taşımayacaktır). Benzer olarak, bir L indüklenme bobini içinden geçen bir I elektrik akımının enerjisi $LI^2/2$ değerine eşittir ki, eğer hiçbir direnç yoksa saklanır, ve bir motorun yardımıyla karşılık düşen bir mekanik enerji niceliğine ve bir direncin yardımıyla ısı enerjisine dönüştürülebilir. O zaman enerjinin bir tür devimin *her zaman* nicelikte değişmeyen ama dönüştürülebilir bir yanı ve işlevi olduğunu ve hiçbir zaman bağımsız olarak varolan bir töz olarak görünmediğini vurguluyoruz. Giderek gizil enerji bile yalnızca iş yapma sığası olarak, e.d. mekanik, elektriksel, ısıl ya da başka enerji biçimlerinin terimlerinde ölçülen bir karşılık düşen devim yaratma sığası olarak tanımlanır.

Fiziğin gelişmelerinin daha erken evrelerinde, tüm devimi belli bir türdeki parçacıkların bir niteliği ya da özelliği olarak düşünmek ilkede olanaklıydı. Kütlenin (ve giderek parçacıkların kendilerinin) eşdeğer enerji miktarlarının salınışı ile "ortadan kaldırılabileceğinin" keşfinden sonra, bu düşünme yolu savunulabilir olmaktan çıktı. Ama eğer enerji böyle parçacıklara ait değilse, o zaman onu nasıl kavrayacağız? Eğer enerjinin yalnızca göreli olarak değişimsiz bir devim fonksiyonu olarak anlamı varsa, ve eğer evrenin bu devime iye olan temel ve sürekli bileşenleri yoksa, "enerji" ve "devim" terimleri ile ne demek isteyebiliriz?

Bu soruları yanıtlamak için, iki tür enerji arasına bir ayrım getirerek başlamak yararlı olacaktır. Bir yanda, *dışa doğru devim enerjisi* vardır ki, örneğin bir cisim bir bütün olarak konum ya da yönelimini değiştirdiği zaman büyük ölçekte yer alır. Öte yanda, *içe doğru devim enerjisi* vardır— örneğin bileşen moleküllerin büyük ölçekte dengelenen ısıl devimleri gibi. İçe doğru devimin özelliği ileri-geri gitme, salınma, arkaya ve öne yansıma vb. eğiliminde olmasıdır. (Einstein'ın daha önce tartıştığımız ışıma kapsayan kutu örneğinde arkaya ve öne yansıyan ışık içe doğru devim olarak görülebilir.)

Açıktır ki "içe doğru" ve "dışa doğru" terimleri anlamlarında özünlü olarak ilişkiseldir. Böylece, büyük-ölçek düzlem ile göreli olarak, moleküler devim "içe doğru"dur, çünkü dışa doğru toplam etkileri büyük ölçekte ortadan kalkar. Bununla birlikte, moleküler düzlem ile göreli olarak, "dışa doğru"dur, çünkü moleküller uzay içinden *bu düzlemde* önemli olan bir yerdeğişimine uğrar. Öte yandan, elektronik ve nükleer devimler moleküler düzlem ile göreli olarak henüz "içe doğru"dur, gerçi *onların* devimlerinin önemli uzaysal yerdeğişimlerinde sonuçlandığı daha da derin düzlemlere geçtiğimiz zaman "dışa doğru" olarak görülmeleri gerekse de.

Bu kavramları göz önünde tutarak, şimdi "Kütle nedir?" sorusuna geri dönelim. İlk olarak belirtiyoruz ki Einstein'ın kuramında kütle ve enerji *özsel olarak ayrı* yollarda doğuyor olarak görülmez. Tersine, tek bir bütünsel devim sürecinin iki ayrı ama ilişkili yanı olarak düşünüleceklerdir. Böyle bir devimde iş yapmak, başka dizgeler ile etkileşimde bulunmak ve onları devime geçirmek için göreli olarak değişimsiz bir sığa vardır, ve bu kökensel dizgedeki devimin zararına işler. Buna *enerji* denir. Ek olarak, böyle bir dizgede başka cisimlere yönelik belli bir yerçekiminin yanısıra belli bir süredurum ya da ivmeye direnç de vardır. Bunların her ikisi de "kütle" adı ile adlandırılan bir özellik ile orantılıdır. Şimdi, daha önce gördüğümüz gibi, eğer bir cisimde bir içe doğru devim varsa (rasgele moleküler devim ya da geriye ve ileriye yansıyan ışık ışınlarının devimi), o zaman bu devim $\Delta m = \Delta E/c^2$ formülüne göre, süredurumlu kütleye bir Δm miktarı kadar katkıda bulunur (ki burada ΔE bu devim ile bağlantılı enerjidir). Dahası, yine belirttiğimiz gibi, genel görelilik kuramında, Einstein'a göre *böyle enerji yerçekimi kütlesine aynı yolda katkıda bulunur.* Görelilik bizden her durumda "özdeğin sürekli tözünün niceliği" olarak

kütle kavramını bir yana atmamızı istediği için, Einstein'ın kuramından şu çıkar ki, ne zaman bir dizge onun bütünsel E enerjisine bir ΔE parçası kadar katkıda bulunan belli bir tür enerji taşıyorsa, o dizge fiziğin onun kütlesine $\Delta m = \Delta E/c^2$ gibi karşılık düşen bir katkıya yüklediği tüm özellikleri (e.d. süredurum ve yerçekimi özellikleri) taşır (söz konusu kütle bütünsel $m = E/c^2$ kütlesinin bir parçası olmak üzere).

Bu bağıntıda belirtmek gerek ki *her enerji biçimi* (gizil enerji ve devim enerjisi de aralarında olmak üzere) kütleye aynı yolda katkıda bulunur. Bununla birlikte, bir cismin "dinginlik enerjisi" özel bir anlam taşır ve buna göre bir cisim bir bütün olarak hiçbir görülebilir devim taşımadığında bile içe doğru devimlere uğramaktadır (ışıma enerjisi, moleküler, elektronik, nükleonik ve başka devimler olarak). Bu içe doğru devimler belli bir E_0 "dinginlik enerjisi" taşır ve "dinginlik kütlesi"ne belli bir karşılık düşen $m_0 = E_0/c^2$ niceliği kadar katkıda bulunur. Enerji yalnızca "içe doğru" olduğu sürece, hiç kuşkusuz dinginlik kütlesi değişmez kalır. Ama gördüğümüz gibi, moleküler, atomik ve nükleer düzlemlerde yer alan içsel dönüşümler bu ileri-geri, yansıyan "içe doğru" devimin bir bölümünü etkileri büyük ölçekte "dışa doğru" görülebilir olan başka enerji biçimlerine değiştirebilir. Bu olduğu zaman, "dinginlik enerjisi," ve onunla birlikte "dinginlik kütlesi," karşılık düşen bir azalmaya uğrar. Ama böyle bir kütle değişimi en küçük bir biçimde gizemli olarak görünmez, yeter ki süredurum kütlesinin ve yerçekimi kütlesinin yalnızca bütün devimin birer yanı olduğunu, ve bu devimin bir başka yanının büyük ölçekte bir iş yapma sığası olarak sergilenen bir eşdeğer enerji olduğunu anımsayalım. Başka bir deyişle, "özdeğin" "enerjiye" dönüşümü yalnızca bir devim biçiminden (içe doğru, yansıyan, ileri-geri) bir başka biçime (örneğin uzay içinden dışa doğru yerdeğişimi) değişimdir.

Bu bakış açısında, ışık hızında deviniyor olmaları koşuluyla sıfır dinginlik kütleli nesnelerin varolması olanağının nasıl anlaşıldığını irdelemek özellikle öğreticidir. Çünkü eğer dinginlik kütlesi bir nesnenin belli bir düzlemde görülür bir biçimde dinginlikte olduğu zaman bile yer alan "iç" devim ise, bundan şu çıkar ki "dinginlik kütlesi" olmayan birşeyin böyle bir iç devimi yoktur, ve *tüm* devimi uzay içerisinden yerdeğişimi ile ilgili olması anlamında dışa doğrudur. Böylece ışık (ve aynı hızla yol alan başka herşey), içerideki "yansıyan" devimlerin ortadan kalkması dolayısıyla, verili herhangi bir düzlemde "dinginlikte" olma olanağını taşımayan birşey olarak görülebilir, çünkü böyle herhangi bir iç devimi yoktur. Bir sonuç olarak ancak c hızında "dışa doğru" devim biçiminde varolabilir. Ve anımsadığımız gibi, ışık hızı ile devinme özelliği bir Lorentz dönüşümü altında değişimsizdir, öyle ki devimin salt "dışa doğru" olma niteliği onu gözlediğimiz gönderme çatısının hızına bağımlı değildir. (Öte yandan, c hızından daha küçük hızlardaki devimler, irdeleme altındaki nesnenin hızına eşit bir hızı olan bir gönderme çatısına bir değişim yoluyla, her zaman dinginliğe dönüştürülebilir.)

XXIV

Yeni Bir Öğesel Parçacıklar Kuramına Doğru

Önceki bölümde "dinginlik enerjisi" ve başka enerji biçimleri arasındaki dönüşümler üzerine anahatlarda verilen bakış açısının tam gelişimi bizi "öğesel" denilen parçacıkları en sonunda bu parçacıkların düzleminden daha da alt düzlemlerde yer alan göreli olarak değişimsiz devim kalıplarında doğan yapılar olarak anlamaya götürecektir. Böyle yapılarda öğesel bir parçacığın "dinginlik enerjisi" bile üzerinde çekirdek dönüşümlerinin yer aldığı düzlemin de altında olan bir düzlemde bir tür "iç," ileri-geri yansımalı devim olarak ele alınacaktır.

Günümüzde "öğesel" parçacıkların yapısının incelemesi gerçekten de fiziksel araştırmanın başlıca ilgilerinden biridir. Yukarıda sözü edilen türden yeni bir düzlemin edimsel olarak varolduğunu imleyen pekçok ipucu toplanmıştır, ve belki de öğesel parçacıkların yapıları en sonunda bu düzlemin terimlerinde anlaşılabilecektir. Bununla birlikte, pekala olabilir ki bu düzlemin yasaları nükleonik düzlemin ve atomik düzlemin yasaları karşısında tıpkı bu son düzlemlerin yasalarının büyük-ölçek düzlemin yasaları karşısında göründüğü kadar yeni olacaktır. Öğesel parçacık fiziğinin günümüzdeki durumu belki de atom fiziğinin Niels Bohr'un zamanından önceki durumuna benzetilebilir, çünkü şimdi olgular üzerine kazanılan geniş dizgesel bilgi birikimi temelden yeni bir kuramsal kavramlar kümesinin geliştirilmesine duyulan gereksinimi imlemektedir. Ama bu henüz geleceğin işidir. Gene de, daha şimdiden açıktır ki bir parçacığın "yaratılması," zorunlu enerji niceliğinin yardımı ile, öğesel parçacıklar düzleminin altındaki bir düzlemde göreli olarak değişimsiz bir karakteristik devim türü oluşturmaya, ve "yok edilmesi" ise karşılık düşen bir enerji niceliğinin salınması ile bu devim kalıbının

sonlanmasına karşılık düşmelidir. Burada özsel görünen şey özdeğin sürekli tözü olarak "öğesel" parçacıklar anlayışını bir yana atmak, ve onları belli devim türleri yer aldığı zaman ortaya çıkan ve bu tür devimler sona erince varolmaya son veren salt *göreli olarak* kararlı kendilik türleri olarak görmektir.

Bu noktada doğallıkla sorular ortaya çıkar. Biri şudur: "Öğesel parçacıklar düzleminin altında gerçekte özdeğin asıl sürekli tözünü oluşturan yeni kendilik türleri bulamaz mıyız?" Hiç kuşkusuz, şimdilik bu problem üzerine gelecekteki araştırmada nelerin keşfedileceğini hiçbir yolda bilemeyiz. Ama belki de burada daha şimdiden bildiklerimizin temelinde yerine getirebileceğimiz birkaç gözlemde bulunmak öğretici olabilir. Doğallıkla, bu gözlemlerin biraz kurgul olmaları gerekecektir; ama gene de bu sorunun anlamını durulaştırmaya yardım edeceklerini umabiliriz.

Şu soru ile başlıyoruz: "Kendiliklerin ya da tözlerin saltık sürekliliği sayıltısı fizik yasalarına hiç gerçek bir katkıda bulunur mu, ya da, olgular açısından zorunlu olmaması ve kuram söz konusu olduğunda ise bir karışıklık kaynağı olması anlamında, bu sayıltı Ptolemi'nin üst-daireleri ve ether kuramı gibi değil midir?" Bu sorunun iyi temellendirilmiş olduğunu göstermek için, sürekli olarak değişen dolaysız algılarımızdan gördüğümüz gibi şekil, büyüklük, sertlik ve başka nitelikler gibi az çok değişmez özellikleri olan belli nesneleri, kendilikleri vb. türetmeyi başardığımız gündelik yaşamı irdeleyerek başlayacağız. Tüm bu nesnelerin kırılabilir, paslanabilir, eriyebilir, yakılabilir ya da tümünün de bozulmaya açık olduğunu bildiğimize göre, sonuçta onlara saltık olarak sürekli özellikleri olan kendilikler olarak değinmekten çok *göreli olarak kararlı ve değişimsiz* kendilikler olarak değinmek daha iyi değil midir? Gerçekten de, eğer bunu yaparsak, o zaman dışarı doğru ve içeri doğru çeşitli devim ve dönüşümlerini yukarıda betimlenen olgular ile çelişmeksizin düşünebiliriz, çünkü nesnelerin değişmez bir adları olduğu için her zaman özsel olarak aynı türde şeyler olarak kalmaları gerektiği gibi yanlış bir sayıltıyı ileri sürmedik. Böylece, açıktır ki sıradan deneyim düzleminde duruluk kazanmak ve karışıklığı azaltmak istiyorsak, daha baştan nesnelerin ve kendiliklerin yalnızca göreli olarak değişimsiz özellikleri olması gerektiğini ve eylemlerini betimlememizin atomik, nükleer ve daha alt düzlemlerdeki tüm devimlerin (bu düzlem için doğru olarak) gözardı edilmesi anlamında yalnızca yaklaşıklıklar olduğunu kabul etmemiz gerekir. Bu devimler dikkate alındığında, sıvılar, katılar, metaller ve gazlar gibi "tözler"in yaratılmasına ve yok edilmesine götüren dönüşümler bütünüyle yalın olarak daha alt düzlemlerdeki "içe doğru" devimlerin sonuçları olarak anlaşılabilir.

Ama sonra moleküler, atomik ve "öğesel" parçacık düzlemlerine geldiğimiz zaman, yine benzer bir süreç gözümüze çarpar. Böylece kendi düzleminde değişmez bir kendilik olan bir atomun ("atom" sözcüğünün kendisi Yunanca'da "bölünemez" demektir) kendi elektron, proton ve nötronlarının "iç" devimlerinin sonucu olan temel dönüşümlere tıpkı

büyük ölçek düzlemdeki kendilikler denli yetenekli olduğu bulunur. Ve, gerçekten de, hiçbir zaman hiçbir yerde bu özellikleri taşımayan kendilikler ile karşılaşmış değilizdir.

O zaman durumun doğasına göre bilinmeyen olanın saltık sürekliliğini ilgilendiren varsayımlarda bulunmaktan bütünüyle kaçınamaz mıyız? Büyük ölçek deneyimde yapılabildiği gibi, bunun yerine daha alt düzlemlerde karşılaşılan kendilikleri ve yapıları karakteristiklerinde *göreli olarak değişimsiz* ya da göreli olarak kararlı görebiliriz. Bu kendiliklerin ya da yapıların göreli olarak değişimsiz oldukları alanda, devimlerine ve dönüşümlerine gündelik deneyimin nesneleri açısından kabul edilen yola oldukça benzer bir yolda göndermede bulunabiliriz. Açıktır ki saltık süreklilik kavramını bu yolda göreli değişimsizlik kavramı ile değiştirdiğimiz zaman hiçbirşey yitmez.

Dahası, birşeyin saltık olarak sürekli olduğu kavramı açıktır ki hiçbir zaman deneysel olarak tanıtlanamayacak bir kavramdır. Çünkü verili bir deneyim alanı boyunca belli şeyler değişmemiş olsa bile, deneyim alanımız genişledikçe, *hiçbir zaman* değişmeyeceklerinden hiç kimse emin olamaz (saltık olarak sürekli olduğu düşünülen herşey açısından gerçekten de olmuş olduğu gibi).

O zaman açıktır ki kendilikleri ve yapıları *şimdilik bilinmeyen bir değişimsizlik alanı* ile göreli olarak değişimsiz görerek, saltık değişimsizlikleri üzerine gereksiz ve tanıtlanamaz sayıltılar getirmekten kaçınırız. Böyle bir yordamın araştırmada olağanüstü büyük bir üstünlüğü vardır, çünkü yeni kavramlar geliştirmede—yalnızca fizikte değil ama bilimin bütününde—başlıca güçlük kaynaklarından biri eski kavramlara geçerlik alanlarının ötesinde sarılma eğilimi olmuştur; bu eğilim açıktır ki bildiğimiz kendilikleri ve yapıları karakteristiklerinde saltık olarak sürekli görme alışkanlığımız tarafından güçlendirilir.

XXV

Kuramların Yanlışlanması

Bu kavramlar belki de Profesör Popper tarafından çok güçlü olarak vurgulanan bir noktanın, eş deyişle bir kuramın *yanlışlanmasının*, birçok yolda, *doğrulanmasından* çok daha imlemli olduğu görüşünün irdelenmesi yoluyla daha öte durulaştırılabilir. Örneğin Galileo dönüşümünün yanlış olduğunun tanıtlanması en sonunda görelilik kuramının gelişmesine eşlik eden devrimci değişimlere götürdü. Benzer olarak, klasik fiziğin atomik izge için tahminlerinin yanlışlığını, fotoelektrik etkiyi ve kara-cisim ışınasının dağılımını gösteren deneyler quantum kuramının getirdiği daha da devrimci değişimlere götürdü. Ve "sürekli" öğesel parçacıkların varoluşunu ilgilendiren düşüncelerimizin yanlış olduğunu imleyen çok daha yakınlardaki kanıtlar temel kavramlarımızın görelilik ve quantum kuramları tarafından getirilen değişimleri bile göreli olarak küçük gösterecek bir dönüşümü için temeli atıyor görünür.

Açıktır ki eski kuramların yanlışlanmasının edimsel olarak fiziğin (ve aslında bilimin bütününün) gelişiminde anahtar bir rolü olmuştur. Bununla birlikte, bu sorun üzerine biraz düşünmek böyle bir sürecin bir bilimin gelişiminin zorunlu bir parçası olduğunu, ve bu gelişimin düzgün olarak yer almasına izin verebilmek için bilimsel kuramların *yanlışlanabilir* olmasının gerçekten de özsel olduğunu gösterir.[6]

Örneğin Ptolemi'nin tasarlanabilir her tür gözlem kümesine uyarlanabilecek bir yolda keyfi üst-daire kümelerinin eklenmesine izin veren kuramını irdeleyelim. Böyle bir kuram ne olursa olsun hiçbir gözlem kümesi tarafından çürütülemez. *Ama bu yolda özünlü olarak yanlışlanamaz olan kuramlar gerçekte dünya üzerine yeni hiçbirşey söylemez.* Çünkü

[6]Profesör Popper'ın bu soru üzerine bakış açısının daha ayrıntılı bir tartışması için, bkz. K. R. Popper, *Conjectures and Refutations,* Routledge and Kegan Paul, Londra, 1963.

kendilerini her tür olgusal buluşa uyarlama yetenekleri ne olursa olsun hiçbir olanağı dışlamadıkları, ve dolayısıyla henüz bilinmeyeni ilgilendiren iyi-tanımlı bir imlemlerinin olmadığı anlamına gelir. En iyisinden, varolan olguları özetlemenin yararlı bir yolunu oluştururlar. Öte yandan, Newton'ın ya da Einstein'ın kuramı gibi bir kuram keyfi deneysel sonuçlara uymak için ayarlanamaz, ve dolayısıyla kuram ilk formüle edildiği zaman bilinmeyen fenomenler üzerine *açıkça belirli* tahminlere götürebilir. Eğer böyle bir kuram yanlış ise, bu nedenle sağlanabilir ve yanlış olduğu gösterilebilir. Bu olanak dünyaya ilişkin yeni birşey söyleme ve böylece gerçek (e.d. önerilmesine götüren deneysel olguların ötesine giden doğru bilgi sağlayabilmesi anlamında gerçek) bir bilimsel kuram oluşturma yeteneğinden ayrılamazdır.

İçeriği gerçekten tahminlere açık bir kuram o zaman bir bakıma "boynunu ipe uzatabilmelidir." Ama bunu yaparsa zamanı gelince "boynunun koparılması" olasıdır. Gerçekten de, örneğin bir noktaya dek doğrulanan ama sonra yanlış oldukları gösterilen Newton mekaniği gibi birçok büyük kuramın başına gelen edimsel olarak budur. Dahası, en sonunda *tüm* kuramların yazgısının bu olması olasıdır. Böylece Einstein'ın özel görelilik kuramı yalnızca genel kurama bir yaklaşıklık sağladığı için bile olsa bütünüyle doğru olamaz. Ve Einstein genel göreliliği, elektrodinamiği ve öğesel parçacık kuramını yaklaşıklıklar ve sınırlayıcı durumlar olarak kapsayacağını umduğu daha genel bir 'birleşik alan kuramı' için araştırmaya giriştiği zaman, örtük olarak genel kuramın bile bütünüyle doğru olmadığını kabul etmiş oldu.[7] Bundan başka, daha önce belirttiğimiz gibi, klasik mekaniğin çok ayrı bir kuram türü olan quantum mekaniğinin bir yaklaşığı ve sınırlayıcı durumu olması anlamında yanlış olduğu gösterilmiştir. Ve şimdi öyle görünür ki yürürlükteki öğesel parçacık kuramının, quantum mekaniği ile birlikte, henüz bilinmeyen daha da genel yeni bir tür kurama salt bir yaklaşıklık olması anlamında yanlış olduğunun gösterilmesi olasıdır.

Eğer yararlı bilimsel kuramlar yalnızca yanlışlanabilir değil ama ayrıca çok büyük olasılıkla *edimsel olarak yanlış* iseler, o zaman bilimsel araştırma yoluyla doğruluk arayışı ne demek olabilir? Profesör Popper'ın savı böylece bilimin bütün amacında, hedef, yordam ve başarımlarında derin bir karışıklık türünü ortaya sermez mi?

Bu problemin kökleri bilimde doğruluğa karşı öyle bir tutumda yatar ki, tıpkı saltık uzay ve zaman ve sürekli töz kavramları gibi, kaçınılmaz görünebilecek bir düzeyde alışkısal olmuştur. Bu tutum *temel* bilimsel yasaları *saltık doğruluklar* olarak görür; başka bir deyişle, böyle yasaların sınırsız alanlarda ve olanaklı tüm koşullar altında sağın olarak (e.d. yaklaşıklık olmaksızın) geçerli olacaklarını ve böylece hiçbir zaman değişkiye, çelişkiye ve temel değişime açık olmayacaklarını varsayar. Örneğin görelilik ve quantum kuramlarının ortaya çıkışından önce,

[7]Ayrıca, Bölüm 22'de belirtildiği gibi, görelilik kuramının geçerliğine sınırlar olabileceği konusunda daha başka nedenlerin de bulunduğunu anımsayın.

Newton'ın devim yasaları, uzay ve zaman kavramları ile birlikte, bu tür saltık doğruluklar olarak görülüyordu. Daha sonra, birçok bilimci büyük olasılıkla görelilik ve quantum kuramlarını "gerçekten/*really* saltık" doğruluklar/*truths* olarak görmeye, ama Newton mekaniğinin ise böyle "ilksiz-sonsuz gerçekliklerin/*verities*" yanlış bir yorumu olmuş olduğunu duyumsamaya başladı.

Saltık doğruluk kavramı nereden geldi? Açıktır ki hiç olmazsa Orta Çağlar kadar gerilerde bu kavram oldukça yaygındı. Örneğin, Aristoteles'in öğretileri o sıralar saltık doğruluklar olarak görülüyordu. Ve eğer zamanda daha da gerilere gidersek, açıkça görülebileceği gibi tarihsel kayıtlarda bilinen hiçbir toplum yoktur ki *kimi* öğreti, kavram ya da düşünce türlerini saltık doğruluklar olarak kabul etmiş olmasın. Böylece bir saltık doğruluk için arayış uzak geçmişte çok derin kökleri olan bir geleneğin sürdürülmesi üzerine dayalı görünür.

Ama, sürekli töz durumunda olduğu gibi, insanlık hiçbir zaman herhangi bir *genel* bildirim ile karşılaşmamıştır ki sınırlı geçerlik alan ve koşulları ile salt bir yaklaşıklık olmasın. Dahası, henüz geçerliklerinde böyle sınırlı oldukları gösterilmemiş genel bildirimler varolsaydı bile, irdeleme altındaki alan belirsizce genişlerken o bildirimlerin doğrulanmasının süreceğinden emin olmanın hiçbir yolu olmazdı (saltık olarak sürekli tözler önsavında olduğu gibi). Böylece, saltık doğruluk kavramı olgular üzerine dayanmaz, ve aslında hiçbir zaman herhangi bir deney tarafından tanıtlanamaz.

Dahası, açıktır ki verili bir yasanın saltık olarak doğru olması sayıltısı hiçbir zaman zorunlu değildir. Çünkü böyle saltık olarak doğru olduğu ileri sürülen tüm yasalar, *durumun olgularına* daha büyük bir bağlılık gösterilerek, *belli bir alanda* geçerli ilişkiler olarak ileri sürülebilir. Böyle bir alanın düzeyi yasa en sonunda daha öte araştırma tarafından yanlışlandığı ve eski yasaları yaklaşıklıklar ya da sınırlayıcı durumlar olarak kapsayan yeni bir yasa ya da yasalar kümesi ile yer değiştirdiği zaman belirtilebilir. Örneğin, gördüğümüz gibi Newton mekaniğinin hız ışık hızına önemli ölçüde yaklaşırken geçersizleştiği bulundu ve bu durumda yerinin Einstein'ın kuramı tarafından alınması gerekli oldu. Bu olgu Newton'ın yasasının alanının yeterince düşük hızların bir alanı olduğunu gösterir.

Bununla birlikte, en sonunda verili bir yasanın geçerlik alanını *tam olarak* ve *eksiksiz olarak* bilmeye ulaşacağımız, ve böylece hiç olmazsa belirli ve iyi-tanımlı bir alanda, verili bir yasanın *her zaman* uygulanabilir olduğunu ileri sürecek bir başka tür saltık doğruluk elde edeceğimiz sanılmamalıdır. Çünkü bu alana ilişkin bilgimizin kendisi tam değildir. Böylece, Newton'ın yasaları açısından, giderek sınırları görelilik kuramı tarafından çizilen düşük hız alanlarında bile, bu yasaların quantum kuramına gereksinen atomik düzlemde başarısız olduğu bulundu, ve büyük olasılıkla galaksi ötesi uzay ve zaman ölçeğinde olduğu gibi aşırı-yoğun yıldızların içlerinde de genel relativistik etkilerin önemli olması

ölçüsünde aynı şey geçerli olacaktır. Newton'ın yasaları üzerine gelecek araştırmada ortaya çıkarılacak olan ama şimdilik bilinmeyen daha öte sınırlamalar konusunda emin olamadığımız için, söyleyebileceğimiz en çoğundan herhangi bir verili yasanın uygulanabilirlik alanı üzerine ek sınırlamalar keşfetme olanağı konusunda bu sınırlamaların bir bölümü daha şimdiden açığa serildiğinde bile her zaman uyanık olmanın zorunlu olduğudur.

Bununla birlikte, genel olarak konuşursak, açıktır ki ne olursa olsun herhangi bir yolda *kendilerine temel olan olguların ötesine giden* geçerlik alanlı yasalar keşfedilebildiği sürece, bilimsel araştırmanın yürürlükteki yöntemler yoluyla sürdürülmesine olanak verecek koşullar varolacaktır. Çünkü böyle araştırma hiç kuşkusuz bu yasalardan herhangi birinin saltık olarak doğru olmasını gerektirmez, yeter ki belli alanlarda nesnel olarak doğrulanabilsinler ve benzer olarak daha geniş alanlarda yanlışlanabilsinler.

Yukarıda betimlenen yasa kavramının terimlerinde, Profesör Popper'ın kuramların yanlışlanabilirliği için gereksinim üzerine savı bütünüyle doğal olarak doğuyor görünür. Çünkü şimdi artık bilimsel bir kuramın ya tam olarak doğru ve dolayısıyla "ilksiz-sonsuz bir gerçeklik/*verity*" olduğunu ya da tam olarak yanlış ve dolayısıyla ne olursa olsun bütünüyle anlamsız olduğunu varsayma gereksiniminde değiliz. Tersine, bir doğa yasası, onu anlama yolumuzun kendisine göre, hem doğada yer alan belli değişimler kümesinde hem de bakış açılarının, gönderme çatılarının, araştırma tarzlarının vb. değişimlerinin karşılık düşen bir kümesinde tüm bu değişimler boyunca aynı kalan belli genel ilişkilerin keşfedilebileceği olgusunu anlatır. Ama bu değişimsizlik *yalnızca göreli* olarak anlaşılacaktır, şu anlamda ki, alan genişledikçe bilincimizde yasanın çökebileceği düşüncesini taşımak için yer açmamız gerekir. Başka bir deyişle, yasa belli bir gelecek deneyler kümesinde yanlışlanabilir. Ne zaman, nerede ve nasıl yanlışlanacağı konusunda kesin birşey söylemeyi üstlenmiyoruz ve bunu göstermeyi gelecekteki gelişmelerin kendilerine bırakıyoruz. Özsel nokta yalnızca bu soru üzerine düşüncelerimizin kapalı olmamasıdır. Tersine, insan soyunun bu tür doğruluk için arayışına başladığı günden bu yana sürekli olarak yaşandığı gibi, saltık doğruluklar ve "ilksiz-sonsuz gerçeklikler" üzerine kavramlarımızı bir kez daha parçalayacak ve devirecek bir "bunalım" ile karşılaşmamız gerekmeksizin, gelecek bir yanlışlama için her zaman hazırız.

Bir kuramın yanlışlanabilirliği ne denli önemli olursa olsun, açıktır ki kuramları *yalnızca* yanlış olduklarını göstermek için önermeyiz. Tersine, daha önce belirttiğimiz gibi, kabul edilebilir bir bilimsel kuram ayrıca başlangıçta ona dayanak olan olguların ötesine geçen doğru çıkarsamalara götürdüğünü gösteren belli bir sayıda deneysel sınamaya ve eleştiriye dayanabilir de olmalıdır. Hiç kuşkusuz, kimi bildirimlerin tahmin edici çıkarsamaları öylesine küçük alanlarda geçerli olabilir ki,

ya önemsizdirler ya da oldukça dar bir imlemleri vardır (örneğin kalem masadadır bildirimi gibi). Gerçekten bilimsel bir yasa oldukça geniş bir geçerlik alanı olan bir yasadır. Böylece bilimsel araştırmanın amaçlarından biri olanaklı en geniş geçerlik alanları olan yasaları bulmaktır.

Gerçekten de, böyle yasaların gelişimi olmaksızın, bildiğimiz biçimiyle bilim aşağı yukarı olanaksız olurdu. Çünkü bilimsel araştırmanın büyük bir bölümü daha şimdiden geniş bir alanda iyi doğrulanmış bir kuramın daha da büyük bir sağınlık ile ve her zaman yeni türden problemlere uygulanmayı sürdürebileceğini gösterme çabası üzerine dayanır ve dayanmalıdır. Bu tür bir kuram böylece doğa araştırmalarımızda ilgili olabilecek türden soruları belirtmeye yardımcı olur. Böyle bir kuramın yokluğunda, araştırma genel olarak birbiri için ya da doğa yasalarının ortaya serilmesi için çok ilgili olmayan yalıtılmış olguların rasgele ve düzensiz bir yığılmasına bozulur.

Gene de, gördüğümüz gibi, yukarıda betimlenen türden başarılı bir kuramı doğrulamak için daha öte çabalar en sonunda ya yanlışlanmaya, ya da özde az çok bir yanlışlanmaya eşit olan ve hoşgörülemez bir karışıklık ve ikircim derecesi içeren keyfi *ad hoc* önsavlara götürecektir. Böyle bir sonuç söz konusu kuramın geçerlik alanının sınırlanmasına katkıda bulunur, ama, daha da ötesi, genellikle imlemli ipuçları ya da belirtiler sağlar ki, bunlar daha geniş geçerlik alanları olan ve gene de eski yasaların (sınırlayıcı durumlar olarak uygun yaklaşıklıkların terimlerinde) doğru olarak bilinen tahminlerini içine alan daha yeni yasalara götürmeye yardımcı olur. Bu ipuçları hiç kuşkusuz doğrudan doğruya daha yeni yasaların hangi biçimleri alması gerektiğini göstermez. Böyle yasaların bulunuşu edimsel olarak belli bir bilimci tarafından atılan yaratıcı bir adım üzerine dayanır, ve bilimci bu adımda şeylere bakmanın yeni bir yolunu (yeni bir önsav, yeni bir düşünce vb.) görür ki, eski bakış açısından çözülemez olan problemleri çözer. Gene de, böyle yaratıcı yeni adımların olanağı bilimsel gelişimin bir arkatasarı üzerine dayanır ki, bunda eski kuramların doğrulama ve yanlışlama etkinlikleri bilimsel bilginin gelişiminin eşit ölçüde zorunlu yanları olarak tümleyici bir yolda birlikte çalışır.

Yeni bir kuram onun ortaya çıkmasına yardımcı olmuş olguların ötesine giden ek bir tahmin edici içeriğinin olduğunu tanıtladıktan sonra, kendi payına kabul edilmiş bir çerçeve rolünü üstlenme eğilimine girer ki, bunun gelişimi ve eklemlenmesi daha öte doğa araştırmasında ilgili olabilecek türde sorulara götürecektir. Bununla birlikte, en sonunda yeni kuram öncellerinin yazgısına uğrar.[8]

O zaman açıktır ki bilimde doğruluğun keşfi hiçbir zaman bitmeyen bir süreçtir, ve bilinmesi bilimsel araştırmaların son hedefini oluşturan değişmez ve iyi tanımlı belli bir ilkeler kümesi için arayış değildir.

[8]Bilimsel kuramların bu tür gelişiminin daha öte bir tartışması için, bkz. T. S. Kuhn, "The Structure of Scientific Revolutions," *International Encyclopedia of Unified Science*, Vol. 11, No. 2, University of Chicago Press, Chicago, 1962.

Dahası, doğruluğun keşfi hiçbir zaman ulaşılamayacak ama belli bir yolda yaklaşılabilecek bir sınır olarak böyle bir ilkeler kümesine adım adım yaklaşma süreci değildir. Ne de doğruluk sürekli olarak artan bir doğruluklar yığını ya da "hazinesi" oluşturmak üzere hiç olmazsa parça parça toplanabilecek bir töze benzetilebilir.

Bilmediğimiz ve gene de sürekli olarak kendisine yaklaşmakta olduğumuz bir saltık doğruluk düşüncesi açıktır ki daha şimdiden böyle bir saltık doğruluğun elimizde olduğu ya da en sonunda onu tam olarak bilmeyi başarabileceğimiz düşüncesi denli tanıtlamasız ve gereksizdir. Edimsel olarak bildiklerimizin tümü ve gerçekten söyleme gereksiniminde olduklarımızın tümü her bilimsel yasalar kümesinin henüz tam olarak bilinmeyen geçerlik alanının olduğudur. Bilmediğimiz ve bilemeyeceğimiz ama yaklaşılabileceğini varsaydığımız sözde bir saltık doğruluğa bağlanmak hiçbir biçimde zorunlu değildir. Dahası, gereksiz ve temelsiz olmanın yanısıra, böyle bir üstenim kafa karışıklığına yol açar, çünkü doğruluğa doğru yürüyüşün yasalarımızın tahmini ve işlerin gerçek durumu arasındaki ayrımın adım adım küçüleceği bir yolda önceki eğilimleri sürdüren bir çizgi ya da çizgiler çokluğu üzerinde yer alacağını imler. Ama bilimin edimsel ilerlemesi böyle sürekli bir yakınlaşma sürecini imlemez. Tersine, görelilik ve quantum kuramları durumunda olduğu gibi, genel olarak konuşursak, eski düşüncelerin kendi asıl alanlarının ötesine genişletildiğinde *bütünüyle yanlış bir yola* girdiklerini, ve eski düşünceler ile çelişirken aynı zamanda onları belli bir anlamda sınırlayıcı durumlar ve yaklaşıklıklar olarak kapsayan kökten yeni düşüncelere gereksinim olduğunu gösterir. Böylece belli bir tür değişmez saltık doğruluğa doğru sürekli olarak yakınlaşma kavramı gerçekten de çok aldatıcıdır.

Benzer bir yolda, sürekli olarak parça parça birikmekte olan bir saltık doğruluk düşüncesi de durumun olgularına aykırıdır. Çünkü bu düşünce saltık doğruluğun bütününü bilmiyor olmamıza karşın, elimizde ondan parçalar olduğunu imler ki, bunların daha sonra keşfedilecek öteki parçalardan bağımsızlık içinde saltık olarak doğru olduğu kabul edilir. Ama gördüğümüz gibi, böyle her bir parçanın (örneğin, Newton mekaniğinin) yalnızca belli bir geçerlik alanı vardır, ve bunun tam ve sağın sınırları hiçbir zaman tam olarak bilinmez, çünkü sonraki keşifler henüz tahmin edilemeyecek yollarda her zaman önceki yasalar ile *çelişebilir*. Öyleyse, verili bir "bölümsel doğruluk" hiçbir anlamda ötekilere eklenebilecek bir tür "tuğla" olarak bile görülemez, ve buna göre örneğin insanlık her bir parçası *her zaman* güvenilebilir olan (en azından daha şimdiden tam olarak sınırları çizilmiş olan belli alanlarda) ve sürekli büyüyen bir doğruluklar yapısı kuruyor olarak görülemez.

Doğruluk böylece özsel olarak dinamik bir yolda ayrımsanabilen birşey olarak görünür, öyle bir anlamda ki, ona ilişkin bilgimiz her noktada temel olarak yeni gelişmelere uğrayabilir, ve bu gelişmeler eski düşünce yapıları ile beklenmedik yollarda çelişebilir ve beklenmedik

bir düzeye dek temelde yeni özellikler kapsayabilir. Her bir evrede bu bilgi bir kuramlar kütlesi biçimini taşır ki, bunlar şimdiye dek yalnızca bilinen olguları ilk ortaya sürüldüklerinde açıklama yeteneğini tanıtlamakla kalmamış, ama bu olguların ötesine geçen daha öte fenomenlerin geniş erimlerini de doğru olarak tahmin etmiştir. Beklenebilir ki bu kuramların çoğu onlara uygulanmak, onları eklemlemek, onları sorgulamak ve onları daha geniş alanlarda sınamak üzere tasarlanmış daha öte deneylerin *belli* bir erimi içinde geçerli kalmayı sürdürecektir. Ama zaman zaman kuramın bütün kütlesinin parçaları, ister büyük ister küçük olsunlar, yanlışlanacak ve buna göre yeni kuramların geliştirilmesi gerekecektir. Bu süreçte kuramların sürekli bir birikimi yoktur, ne de bir yakınlaşma sınırı olarak herhangi bir tikel biçime bir yaklaşım vardır. Verili herhangi bir evrede başarılan şey hiç kuşkusuz sonunda dergilerde ve ders kitaplarında yayımlanır ve böylece araştırmacılar tarafından uygulayımsal kullanıma, incelemeye ve daha öte gelişim ve eleştiriye açılır. Ama bilimsel doğruluk özsel yaşamını eski kuramların ortaya çıkardığı yeni problemler ile karşılaşma sürecinde bulur, ve insan burada bir tür "büyüme bölgesi" içindeymiş gibi her zaman şimdiye dek onun için bilinmeyen olanla karşılaşır.

Ek Bölümünün A–4 Kesiminde bu soruyu daha öte ele alacağız.

XXVI

Minkowski Çizgesi ve K Kalkülüs

Şimdiye dek Einstein'ın relativistik uzay ve zaman kavramlarını fiziksel ve matematiksel bir bakış açısından tartıştık ve matematiksel irdeleme büyük ölçüde bir Lorentz dönüşümü için (14–3) ve (14–4) formülleri üzerine dayandırıldı. Şimdi görelilik kuramının anlamını irdelemek için Minkowski tarafından geliştirilen ve kuramın imlemini değişik bir ışık altına düşüren *geometrik* bir yolu vereceğiz.

Uzay ve zaman için "Minkowski çizgesi" olarak bilinen çizge ile başlıyoruz (bkz. Şekil 26–1). Bu çizgeyi tartışırken ilkin laboratuarda dinginlikte olan bir Ω_1 gözlemcisini irdeliyoruz. Bu gözlemci tarafından ölçüldüğü gibi zaman koordinatını OA çizgisi ile ve uzay koordinatlarından birini (z) ise OB çizgisi ile temsil ediyoruz. Çizgenin dört-boyutlu olabilmesi için, ilkede öteki iki uzay koordinatı olan x ve y koordinatlarını da kapsamamız gerekir. Bununla birlikte, birçok amaç için z ve t ile ilgilenmek ve böylece iki-boyutlu bir çizge oluşturmak yeterli olacaktır.

Bu çizge üzerindeki her bir nokta bir *olaya* göndermede bulunur (örneğin bir ışık sinyalinin çakışı gibi). Her gerçek olay hiç kuşkusuz belli bir zaman aralığı sırasında yer almalı ve belli bir uzay bölgesini doldurmalıdır. Bununla birlikte, eğer zaman aralığı çok kısa ve uzay bölgesi karşılık düşecek kadar küçük ise, edimsel *uzamlı olayın* yerine bir *nokta olay* biçimindeki yalınlaştırıcı soyutlamayı geçirebiliriz.

O noktası $t = 0$ zamanında $z = 0$ bölgesinde bulunan bir gözlemcinin yaşadığı böyle bir olayı temsil etsin. Eğer gözlemci laboratuar ile göreli

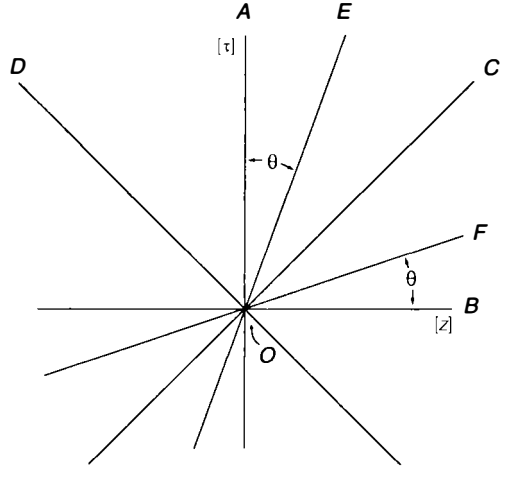
olarak dinginlikte ise, bu durumda bir zaman dönemi boyunca yaşadıklarını betimleyen olaylar çizgemizin t ekseni olan OA çizgisi üzerinde bulunacaktır. Böyle bir çizgiye bir *evren çizgisi/world line* denir. O zaman OB çizgisi böyle bir gözlemci tarafından ölçüldüğü gibi O ile eşzamanlı olan tüm olayları temsil eder.

Zaman birimlerini c ışık hızının birim olduğu bir yolda kabul etmek uygun olacaktır. Bunu $\tau = ct$ yazarak yapabiliriz. O zaman, eğer OA ekseninin zamanı τ birimlerinin terimlerinde temsil ettiğini varsayarsak, ışık ışınlarının $z = \pm \tau$ yollarının z ve τ eksenlerine göre 45°'de olan OC ve OD gibi iki çizgi tarafından temsil edildiğini görürüz.

Hiç kuşkusuz, bir ışık ışını için üç boyutta birçok olanaklı yön vardır, öyle ki O'dan geçen ışık ışınlarının bütün kümesi bir koni tarafından temsil edilir. O zaman OC ve OD çizgileri bu "ışık konisi"nin z-τ düzlemi ile kesişmesine karşılık düşer.

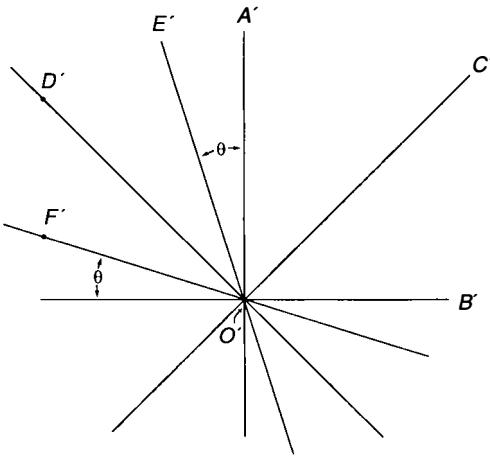
Şimdi laboratuar ile göreli olarak bir v hızı ile devinen bir uzay gemisindeki ikinci bir Ω_2 gözlemcisini irdeleyelim. İzleği, $z = (v/c)\tau$, o zaman τ ekseni ile göreli olarak $\tan\theta = v/c$ tarafından verilen bir eğim ile karşılık düşen bir OE evren çizgisini tanımlar. Bölüm 13'ün sonuçları ile uyum içinde, böyle bir gözlemci laboratuarda durağan Ω_1 gözlemcisi tarafından eşzamanlı olarak görülen olaylar kümesinden ayrı bir olaylar kümesine eşzamanlılık yükleyeccktir. Gerçekten de, eğer τ' ve z' değerleri Ω_2 tarafından ölçüldüğü gibi koordinatlar ise, o zaman $\tau' = 0$ anlatımı onun tarafından hangi olayların eşzamanlı olarak alındığını belirler. Ama (14–3) denkleminden gördüğümüz gibi $\tau' = ct' = 0$ anlatımı $t = (v/c^2)z$ ya da $\tau = (v/c)z$ anlatımını imler. Bu yer z ekseni ile göreli olarak $\theta = \tan^{-1}(v/c)$ açısında eğimli olan OF çizgisi tarafından belirtilir.

Şekil 26 –1



Bölüm 16 ve 17'de betimlenen görelilik ilkesine göre hiçbir "ayrıcalıklı" koordinatlar dizgesi yoktur, öyle ki *tüm* temel fizik yasaları her gönderme çatısında aynı ilişkileri oluşturur. Öyleyse laboratuar uzay gemisi ile göreli olarak $-v$ hızında devinirken içinde bir uzay-gemisi gözlemcisinin dinginlikte olarak alındığı bir Minkowski çizgesini kullanmak eşit ölçüde doğru olmalıdır. Bu olanağı Şekil 26–2'de açık-

Şekil 26–2



lıyoruz. Burada $O'A'$ uzay gemisinin evren çizgisini ve $O'B'$ uzay gemisindeki gözlemci tarafından eşzamanlı olarak görülen olaylar kümesini temsil eder. Laboratuar gözlemcisinin evren çizgisi o zaman $O'E'$ tarafından verilirken, laboratuar gözlemcisi açısından O' ile eşzamanlı olan olaylar $O'F'$ çizgisi üzerindedir (bu çizgi laboratuarın gemi ile göreli $-v$ hızına karşılık düşer).

Görelilik ilkesinin anlamını Minkowski çizgesinin terimlerinde daha öte geliştirmenin en yalın ve şık yollarından biri "K kalkülüs" adı verilen yordamdır. Bu kalkülüs[9] bir küme gözlemciyi irdeleyerek başlar ki, bunlardan her biri eşdeğer yapılı bir saat ile ve bu saat tarafından zamanlanan ve böylece düzenli aralıklar ile yerleştirilebilen vuruşlar göndcrme yeteneğindeki bir radar aygıtı ile donatılıdır. Elinde bir radar ileticisinin olmasının yanısıra, her bir gözlemcinin bir de hem çevredeki nesnelerden geri yansıyarak gelen kendi sinyallerinin hem de başka gözlemciler tarafından yayılan sinyallerin varış zamanlarını (onun saati ile ölçüldüğü gibi) kaydedebilen bir alıcı ile donatılı olması gerekir.

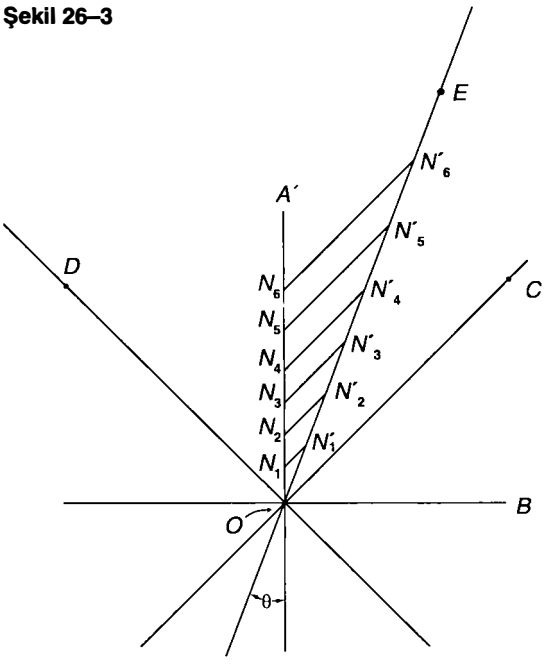
Şekil (26–3)'te belirtildiği gibi, dışarıya düzenli olarak sıralı N_1, N_2, N_3 vb. aralıkları ile sinyaller göndermekte olan bir laboratuarda dinginlikte olduğumuzu düşünerek başlayalım. Bu sinyaller ışık hızında ilerler, ve roket gözlemcisi (OE evren çizgisi ile) onları N'_1, N'_2, N'_3 vb. ile belirtilen aralıklarda alır. T_0 *laboratuar saati ile ölçüldüğü* gibi vuruşlar arasındaki zaman olsun. Şimdi roket gözlemcisi bir başka T zamanını ardışık vuruşların *alınması* arasındaki zaman olarak ölçecektir. Genel olarak, açıktır ki T ve T_0 ayrı olmalıdır. Gerçekten de, Newton kuramında bile, Doppler kaymasından ötürü T değeri T_0 ile aynı olmayacaktır. Bununla birlikte, görelilik kuramında

$$k = \frac{T}{T_0} \tag{26–1}$$

oranının uzay gemisinin hızının Newton kuramında olduğundan ayrı bir fonksiyonu olduğunu göreceğiz.

[9]Bu kalkülüs H. Bondi tarafından bir kamu dersinde tanıtıldı.

Şekil 26–3



Şimdi, görelilik ilkesine göre, Şekil 26–4'te gösterildiği gibi, roket gözlemcisinin M_1, M_2, M_3 vb.de düzenli atışlar göndermesi ile, ve gözlemcinin *kendi* saatinde ölçüldüğü gibi atışlar arasındaki aralığın T_0 olması ile, karşılık düşen benzer bir deney olanaklı olmalıdır. Atışlar laboratuar gözlemcisi tarafından M'_1, M'_2, M'_3 vb.de alınır ve aralarında T' ile belirtilen bir aralık vardır. O zaman oranı

$$k' = \frac{T'}{T_0} \tag{26–2}$$

olarak tanımlarız ki, bunu birazdan daha öte uslamlamalar yardımıyla değerlendireceğiz.

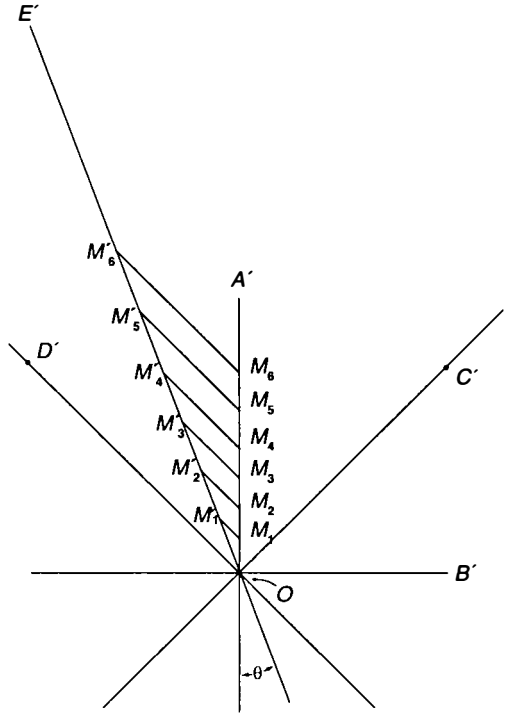
Dikkat edin ki Şekiller 26–3 ve 26–4'te, her iki gönderme çatısında da ışık hızının aynı c değerini taşıdığını göstermek üzere, 45°'lik bir eğim ile radyo sinyallerinin yollarını belirten $M_1M'_1$, $M_2M'_2$, vb. çizgilerini çizdik (ve ayrıca $N_1N'_1$, $N_2N'_2$ vb. çizgilerini). Bu ışık hızının değişimsiz, tüm gözlemciler için aynı olduğu biçimindeki gözlem olgusunu Minkowski çizgesinde gösterme yolumuzdur.

Açıktır ki iki gönderme çatısında yerine getirilen deneyler eşdeğerdir, ve her biri karşılık düşen gözlemcinin gönderme çatısı ile ilişkilendirildiğinde simetrik olarak betimlenecektir. Böylece her bir deneyde düzenli sinyaller yayılımlarını denetleyen saat ile ölçüldüğü gibi T_0 aralıklarında gönderilir. Her bir deneyde sinyaller c hızı ile devinir, ve kaynaktan bir v hızı ile uzaklaşan bir gözlemci tarafından alınır. Görelilik ilkesine göre, ne zaman iki ayrı gözlemci bu yolda eşdeğer yordamları yerine getirecek olsa, bu yordamlarda işleyen yasaların aynı olması gerekir. O zaman vargımız $k' = T'/T_0$ oranının $k = T/T_0$ oranı ile aynı olması gerektiği, ya da

$$k = k' \tag{26–3}$$

olduğudur.

Şekil 26–4



Bununla birlikte, anımsanmalıdır ki bu yalnızca ışık hızını her gönderme çatısı için aynı alan relativistik bir kuramda geçerlidir. Böylece Newton mekaniğinde ışık ışınları ancak etherde dinginlikte olan bir gönderme çatısında eksenler ile 45°'lik açılar yapan çizgiler olarak temsil edilecek, ve bu nedenle k ve k' eşitliğini göstermemizi sağlayan uslamlamadan geçmek gerekmeyecektir.

Şimdi k değerini iki gözlemcinin v göreli hızlarının bir fonksiyonu olarak türetmeye geçebiliriz. Bunu yapmak için (Şekil 26–5'te OA evren çizgisi ile belirtilen) laboratuar gözlemcisinin (OE evren çizgisi ile) devinen gözlemci ile karşılıklı olarak sinyal göndermesi deneyini irdeleyelim. Varsayalım ki deneyin başında iki gözlemci O kökenine karşılık düşen yer ve zamanda birbirinin çok yakınından geçsin. O zaman, bu kıpıda gözlemciler arasında bir sinyalin geçirilmesi gözardı edilebilecek bir zaman aldığı için, gözlemciler saatlerini senkronize edebilecektir. Uygunluk uğruna, her iki gözlemcinin de saatlerini öyle bir yolda ayarladığını varsayalım ki, O kıpısı

$$t = 0, \quad t' = 0$$

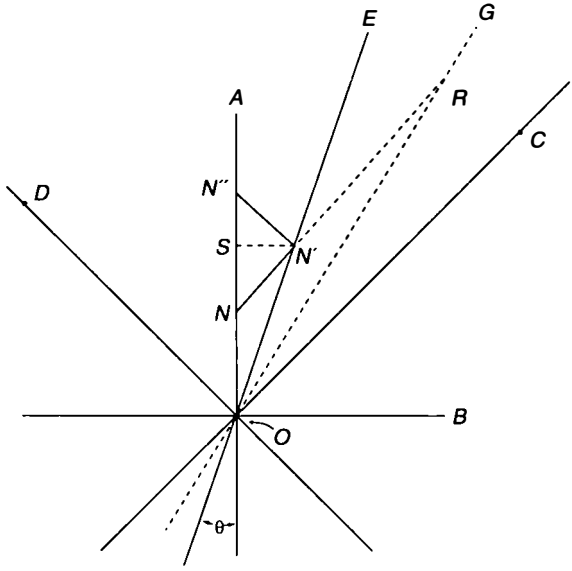
değerlerine karşılık düşsün.

Sonra laboratuar gözlemcisi N'ye ve *kendi* saati ile ölçüldüğü gibi T_0 zamanına karşılık düşen noktada bir sinyal gönderir. Bu uzay gemisinde N' noktasına karşılık düşen noktada alınır. Roket gözlemcisi zamana şunu yükler:

$$T = kT_0 \tag{26–4}$$

Ama şimdi sinyalin N' noktasında alınması üzerine roket gözlemci-

Şekil 26–5



sinin hemen kendi sinyalini gönderdiğini varsayalım. Bu laboratuarda N'' noktasına karşılık düşen bir noktada, T_1 zamanında alınacaktır. Bununla birlikte, gördüğümüz gibi, görelilik ilkesi burada şu sonucun çıktığını imler:

$$T_1 = kT = k^2 T_0 \tag{26–5}$$

Şimdi biraz temel geometri yapacağız. Hem (NN') hem de $(N'N'')$ eksen ile 45°'lik açı yapan ışık ışınlarına karşılık düştüğü için, şunu elde ederiz:

$$(SN') = (NS) = (SN'') = \frac{(NN'')}{2}$$

$$(SN') = (NS) = (OS)\tan\theta = (OS)\frac{v}{c} = \frac{(NN'')}{2}$$

$$(OS) = (ON) + (NS) = (ON) + \frac{(NN'')}{2}$$

$$(ON) = T_0$$

$$(NN'') = T_1 - T_0 = \frac{k^2 - 1}{2} T_0$$

$$(OS)\frac{v}{c} = \frac{k^2 + 1}{2}\frac{v}{c} T_0 = \frac{k^2 - 1}{2} T_0 \tag{26–6}$$

$$\frac{v}{c} = \frac{k^2 - 1}{k^2 + 1} \tag{26–7}$$

$$k = \sqrt{\frac{1 + v/c}{1 - v/c}} \tag{26–8}$$

Böylece K kalkülüste özsel nicelik olan K etmenini elde ettik. Dikkat edin ki $v = 0$ için bu etmen, olması gerektiği gibi, birdir. Pozitif v için birden büyük, ve negatif v için birden küçüktür.

K etmeni gerçekte yalnızca relativistik Doppler kaymasıdır (bir sıfır açı görüşü için), ki bunu daha önce denklem (17–12)'de Lorentz dönüşümünün yardımıyla çok daha dolambaçlı bir yolda elde etmiştik. Bununla birlikte, bu kez değişik hızlarda devinen gözlemciler tarafından ölçüldüğü gibi ışık hızının değişimsizliğini kullanarak formülü görelilik ilkesinden çok doğrudan bir yolda türettik.

K kalkülüs gerçekte daha önce Lorentz dönüşümünden türettiğimiz temel formülleri elde etmek için kullanılabilir. Bu olanağı açıklamak için, değişik hızlarda devinen eşdeğer saatlerin oranlarını karşılaştıran formülü çıkarsayarak başlayalım. Şimdi, Şekil 26–5'e bakarsak, biliyoruz ki (ON')'ne karşılık düşen aralıkta roket gözlemcisi bir

$$T = kT_0 \tag{26–9}$$

zamanını kaydedecektir. Öte yandan, ($N'S$) çizgisi OA eksenine dik olduğu için, laboratuar gözlemcisi N' olayını S ile eşzamanlı olarak görecektir. Öyleyse, laboratuar gözlemcisi N' olayına şu zaman koordinatını yükleyecektir:

$$t = (OS) = (ON) + (NS) = (ON) + \frac{(NN'')}{2} = \frac{1 + k^2}{2} T_0 \tag{26–10}$$

Bundan şu çıkar ki laboratuar gözlemcisi ve roket gözlemcisi tarafından aynı olay (N') için ölçülen zamanların t/T oranı sırasıyla şudur

$$\frac{t}{T} = \frac{k + k^{-1}}{2} = \frac{1 + k^2}{2k} = \left[1 + \frac{1 + (v/c)}{1 - (v/c)}\right] \frac{1}{2k}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)}} \frac{1}{\sqrt{1 + (v/c)}} = \frac{1}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}} \tag{26–11}$$

Böylece devinen saatlerin "yavaşlamasını" Lorentz dönüşümünün yardımı olmaksızın doğrudan türettik. Şimdi hızların toplanması için relativistik formülü eşit doğrudanlık ile türetebiliriz. Bunu yapmak için, Şekil 26–5'e belirtildiği gibi, OG evren çizgisi olan ve laboratuar ile göreli olarak bir w hızında yol alan bir üçüncü gözlemciyi düşünelim. Bu gözlemciye karşılık düşen K etmenini iki ayrı yolda elde etmek olanaklıdır. İlk olarak laboratuar gönderme çatısında T_0 zamanına karşılık

düşen N noktasında yayılan bir sinyal ile başlıyoruz. Bu OG gözlemcisi tarafından R noktasında şu değere karşılık düşen zamanda alınır:

$$T_2 = k(w)\ T_0 \tag{26–12}$$

ki burada $k(w) = \sqrt{[1+(w/c)]/[1-(w/c)]}$. Ama T_2 için formülü iki evrede de elde edebiliriz. İlk olarak, N noktasından

$$T_1 = k(v)\ T_0 \tag{26–13}$$

zamanında (ki uzay gemisindeki gözlemcinin saati ile ölçülür) N' noktasına ulaşan sinyali irdeliyoruz, ki burada $k(v) = \sqrt{[1-(v/c)]/[1+(v/c)]}$. Sonra roket gözlemcisi hemen bir sinyal (ki $N'R$ ile çakışır) gönderir. Eğer uzay gemisinin gönderme çatısında ölçüldüğü gibi OG gözlemcisinin hızı u ise, o zaman görelilik ilkesine göre şunu elde ederiz:

$$T_2 = k(u)T_1 = \sqrt{\frac{1+(u/c)}{1-(u/c)}}\sqrt{\frac{1+(v/c)}{1-(v/c)}}T_0 \tag{26–14}$$

Bundan şu çıkar ki

$$\frac{(1+u/c)}{(1-u/c)}\frac{(1+v/c)}{(1-v/c)} = \frac{1+w/c}{1-w/c} \tag{26–15}$$

$$k(w) = k(u)k(v) \tag{26–16}$$

Böylece, ardarda bir çift dönüşüm için K etmeni yalnızca dönüşümlerin her biri için bireysel K etmenlerinin çarpımıdır. Biraz cebir yardımı ile şunu elde ederiz:

$$w = \frac{u+v}{1+(uv/c^2)} \tag{26–17}$$

ki tam olarak hızların toplamı için denklem (15–8)'de verilen relativistik formüldür.

Son olarak, K kalkülüs Lorentz dönüşümünün kendisini elde etmek için kullanılabilir. Bunu yapmadan önce, ışık hızı tüm gözlemciler için aynı olduğuna göre, ayrı zaman ve uzaklık ölçünlerine gereksinmediğimizi belirtmek yararlıdır. Tersine, elimizde bir saat varsa, uzaklık ölçünümüz daha şimdiden imlenir. Çünkü eğer bir d uzaklığındaki bir nesneye bir radar sinyali gönderirsek, o zaman eğer δt sinyalin kaynaktan nesneye gitmesi ve geri yansıması için gereken zaman ise, nesnenin d uzaklığı

$$d = \frac{c\delta t}{2} = \frac{\delta\tau}{2} \tag{26–18}$$

Bu nedenle tüm gözlemcilerin eşdeğer yapılı saatlerinin olması yeterlidir. Ek olarak ölçün metre çubuklarının olduğunu varsaymak zorunlu değildir. Bu ölçme yordamının mantıksal temellerini çok yalınlaştırır, çünkü atomların ya da moleküllerin titreşim dönemleri ölçün saatler

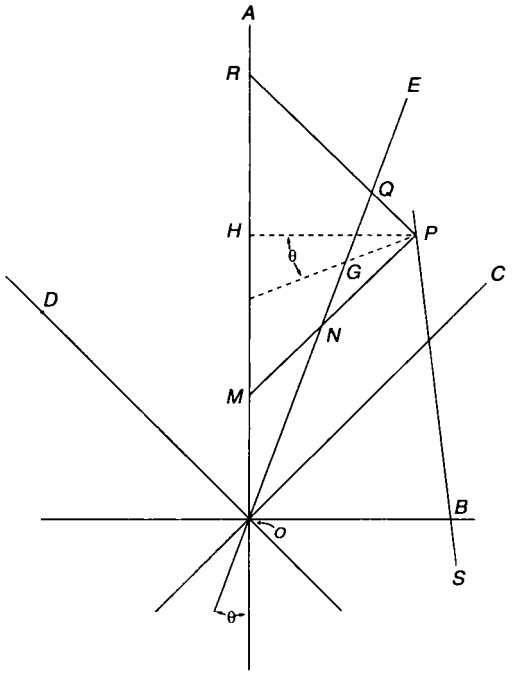
olarak kullanılabilir ki, bunların tüm gözlemciler için eşdeğer yollarda işlev göreceklerine güvenilebilir.

Lorentz dönüşümünü çıkarsamak için Şekil 26–6'ya dönüyoruz. Varsayalım ki laboratuar gözlemcisi *OA* ve roket gözlemcisi *OE* birbirini her ikisi için de zaman sıfırına karşılık düşen *O* noktasında geçsin. Laboratuar gözlemcisi kendi saati ile ölçüldüğü gibi bir T_1 zamanına karşılık düşen *M* noktasında bir atış gönderir. *N* noktasında bu atış roket gözlemcisini geçer ve o da eşzamanlı olarak kendi saati ile ölçüldüğü gibi T_1 zamanında kendi atışını gönderir. İki atış *ST* evren çizgili bir nesneye ulaşıncaya dek birlikte yol alarak *P*'de ona çarpar. Yansıyan atışlar geri döner, roket gözlemcisinin saati ile belirtilen T'_2 zamanında *Q*'da uzay gemisine çarpar. Atışlar laboratuara *R*'de laboratuar saatinde belirtilen T_2 zamanında çarpmayı sürdürür.

Şimdi, laboratuar gözlemcisi *P* olayına şu zaman ve uzay koordinatlarını yükler:

$$\tau = ct = cT_1 + c\frac{T_2 - T_1}{2} = c\frac{T_2 + T_1}{2} \qquad (26\text{–}19)$$

Şekil 26–6



$$x = c\frac{T_2 - T_1}{2} \tag{26–20}$$

$$\tau + x = cT_2 \qquad \tau - x = cT_1 \tag{26–21}$$

Görelilik ilkesine göre, roket gözlemcisinin de bir eşdeğer formüller kümesi olacaktır.

$$\tau' = ct' = \frac{c}{2}(T_1' + T_2') \qquad x' = \frac{c}{2}(T_2' - T_1')$$
$$\tau' + x' = cT_2' \qquad \tau' - x' = cT_1' \tag{26–22}$$

Ama K kalkülüse göre,

$$T_1' = kT_1 \qquad T_2 = kT_2'$$
$$T_1'T_2' = T_1T_2 \tag{26–23}$$

Yukarıdan şunu elde ederiz ($\tau = ct$ olmak üzere)

$$\left(t' + \frac{x'}{c}\right)\left(t' - \frac{x'}{c}\right) = (t')^2 - \frac{(x')^2}{c^2} = T_1'T_2' = T_1T_2 = t^2 - \frac{x^2}{c^2} \tag{26–24}$$

Bu (tek-boyutlu durum için) aralık için (9–7) ve (9–8) denklemlerinde Lorentz dönüşümünden elde edilen formülün değişimsizliğini verir.

(26–20)'den şunu elde ederiz:

$$t = \frac{kT_2' + T_1'/k}{2}$$
$$x = \frac{kT_2' - T_1'/k}{2} \tag{26–25}$$

Ve biraz cebirden sonra, bu şuna indirgenir:

$$t = \frac{t' - (vx'/c^2)}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \qquad x = \frac{x' - vt'}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \tag{26–26}$$

ki hiç kuşkusuz tam olarak Lorentz dönüşümüdür.

Niçin iki ayrı gözlemcinin ayrı bir olaylar kümesine eşzamanlılık yüklediği K kalkülüs terimlerinde oldukça doğrudan bir yolda görülebilir. Gerçekten de (26–20), (26–21) ve (26–22) denklemlerinin ileri sürdüğü şey yalnızca herhangi bir gözlemci bir radar atışı gönderince o gözlemcinin P olayının zamanını kendi evren çizgisinde radar atışının yayılım noktası ve yansımasının alınış noktası arasında orta noktada olan bir olay ile eşzamanlı olarak *tanımladığıdır*. Böylece, Şekil 26–6'da laboratuar gözlemcisi P'yi M ve R arasındaki orta nokta olan H ile eşzamanlı olarak tanımlar, ve bu arada roket gözlemcisi P'yi N ve Q arasında orta nokta olan G ile eşzamanlı olarak tanımlar. Daha önce Bölüm 12'de görelilik kuramında eşzamanlılığın uylaşımsal yanına dikkati çekmiştik ve orada onu bir demiryolu trenindeki ve setteki gözlemcilerin

örneklerinde nitel olarak tartışmıştık. Burada her iki gözlemci için ışık hızının eşitliğinin, ve ek olarak eşzamanlılığı tanımlamak için eşdeğerli uylaşımlar kullanmaları olgusunun nasıl hangi olayların aynı zamanda yer aldığı konusunda anlaşamadıklarını imlediğini daha sağın terimlerde görürüz; ve böylece, Şekiller 26–1 ve 26–2'de gösterildiği gibi, ayrı gözlemciler için eşzamanlı olayların ayrı yerlerinin kaynağını sergileriz.

Açıktır ki *K* kalkülüs bize tarihsel olarak ilkin Lorentz dönüşümü temelinde türetilen birçok ilişkiyi elde etmenin çok doğrudan bir yolunu verir. *K* kalkülüsün üstünlüğü bu ilişkiler ve kurama dayanak olan temel ilke ve olgular arasındaki bağıntıyı çok açık kılmasıdır. Gerçekten de, görelilik ilkesi ile ve ışık hızının değişimsizliği ile başlayarak, Lorentz dönüşümünün kendisinin yalnızca belli fiziksel olay kümelerinin kalıplarının belli geometrik ve yapısal özelliklerinden doğduğunu gördük. Gene de, ne denli incelikli ve doğrudan olursa olsun, *K* kalkülüs henüz görelilik kuramında önemli olan değişik ilişkilerin *tümünde de* Lorentz dönüşümünün yerini alacak bir düzeyde geliştirilmiş değildir. Böylece şimdiki durumda Lorentz dönüşümünün yaklaşımı ve *K* kalkülüsün yaklaşımı her birinin ötekinde kolayca elde edilemeyen içgörüler sağlaması anlamında birbirini tümler. Ek olarak, *K* kalkülüs oldukça yenidir, öyle ki eldeki yazınsal kaynakların çoğu Lorentz dönüşümü yaklaşımının terimlerinde anlatılır. *K* kalkülüsün en sonunda matematiksel kuramın bir temeli olarak Lorentz dönüşümünün yerini almaya yeterli olacak bir düzeye dek geliştirilmesinin olanaklı olmasına karşın, öyle görünür ki hiç olmazsa bir süre için Lorentz dönüşümü kuramı anlatmanın başlıca kipi olmayı sürdürecek ve bu arada *K* kalkülüs kuramın anlamı üzerine ek içgörüler sağlamaya hizmet edecektir.

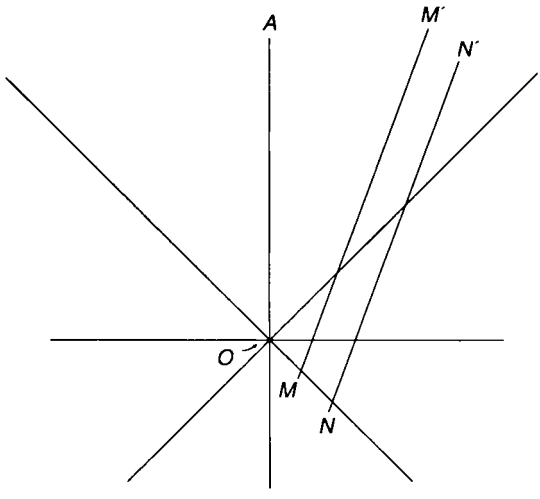
XXVII

Olayların Geometrisi ve Uzay-Zaman Süreklisi

Önceki bölümde Minkowski çizgesinin terimlerinde fiziksel fenomenlerin nasıl *olayların* (sinyallerin yayılması ve soğrulması gibi) ve *süreçlerin* (bir radar sinyalinin yayıcıdan alıcıya iletimi gibi) terimlerinde betimlendiğini gördük. Giderek sürekli olarak varolan bir nesne bile (bir gözlemci gibi) kendi *evren çizgisi* tarafından betimlenir, ve bu, gerçekten de, sonuçta onun varolduğu ardışık uzay ve zamanları temsil eden sürekli bir olaylar dizisinin yeridir. Hiç kuşkusuz, edimsel olarak tüm gerçek nesneler (gözlemciler de aralarında olmak üzere) uzayda uzamlı da olduklarına göre, "evren tüpleri" aracılığıyla betimlenir (ki bunlardan biri MM' ve NN' olarak sınırlarına göre Şekil 27–1'de gösterilir). Böyle bir tüpün içerisinde genel olarak çok karmaşık bir olaylar ve süreçler kümesi yer alır (örneğin nesnelerin molekül, atom, elektron ve protonlarına vb. dek çeşitli bileşen parçalarının devimleri gibi).

Minkowski çizgesinde kavramlarımızda şeylerin genel doğasını ilgilendiren çok köktenci bir değişim imlenir. Bunun nasıl ortaya çıktığını görmek için Newton kuramında eşzamanlılığın benzersiz bir anlamı olduğunu anımsayarak başlıyoruz. Buna göre her bir kıpıda evrenin çeşitli nesneler tarafından oluşturulduğunu varsaymak anlamlı olacaktır (bunlar ister büyük ölçekte olsunlar isterse atomik ya da elektronik düzlemde). Sonraki kıpıda bu nesneler henüz varoluşta olacak, ama her biri bir yerden bir başkasına devinmiş olacaktır. Böylece fizikçinin görevi evrenin sürekli temel nesnelere çözümlemesi olarak görülür ki, bunlar, zamanın geçişi ile devimlerinin izlenmesini de kapsamak üzere, evreni oluşturur.

Şekil 27–1



Bölüm 24'te belirttiğimiz gibi, tüm bilinen nesneler ("öğesel parçacıklar" denilen nesneler de aralarında olmak üzere) çeşitli yollarda yaratılabildiği, yok edilebildiği ve dönüştürülebildiği için, önceki paragrafta betimlenen düşünce daha şimdiden fiziksel fenomenleri ilgilendirdiği bilinen *deneysel olgular* açısından yetersizliğini tanıtlamıştır. Ama görelilik her bir kıpıda evrenin benzersiz olarak tanımlanan nesnelerin belli bir düzenlenişinden oluştuğu düşüncesine karşı daha öte *kuramsal nedenler* sağlar. Çünkü gördüğümüz gibi, "aynı zaman" kavramının şimdi ancak gözlemcinin gönderme çatısı ile ilişki içinde bir anlamı vardır. Değişik gözlemciler hangi olayların "aynı zamanı" oluşturduğu konusunda anlaşamaz, ve dolayısıyla "nesnelerin" temel özelliklerinin (örneğin uzunluk, kütle vb. gibi) ne olduğu konusunda da anlaşamaz.

Yukarıda betimlenen sorunu Minkowski çizgesini getirerek ele aldık. Çünkü "nesne"nin yeri şimdi olayların ve süreçlerin bir yapısı ve kalıbı tarafından alınır (örneğin bir gözlemciyi temsil eden evren çizgisi ya da evren tüpü). Her zamanki göreli olarak sürekli nesne tipi şimdi belirsizce uzun bir zaman dönemi boyunca kendine benzer kalma eğilimindeki bir olaylar ve süreçler kalıbına karşılık düşer. Sürekli olmayan bir nesne hiç kuşkusuz belli bir bölgede (nesnenin "yaratıldığı" yerde) başlayarak ve bir başka bölgede (nesnenin "yok edildiği" yerde) sonlanarak değişen ve dönüşen bir kalıba karşılık düşer.

Yukarıda betimlenen yordamda, *evrenin bileşen nesnelere çözümlemesinin yeri onun olayların ve süreçlerin terimlerinde çözümlemesi tarafından alınmıştır,* öyle ki bu olaylar ve süreçler incelenmekte olan özdeksel dizgenin özelliklerine karşılık düşmek üzere örgütlenir, düzenlenir ve yapılandırılır. Bundan şu çıkar ki, birlikte alınan *uzay ve zaman* fizik-

sel fenomenlerin karakteristiklerini ele almanın aracını oluşturur. Bu anlamda, birlikte uzay ve zaman Newton mekaniğinde yalnızca uzay tarafından oynanan role benzer bir rol oynar. Başka bir deyişle, şeylerin doğası Minkowski çizgesinde sergilendiği gibi uzay ve zamandaki bir tür "geometrik" kalıbın terimlerinde betimlenir.

Uzayın geometrisinde, boyutlarından her birinin bir çevrim aracılığıyla ötekiler ile ilişkilendirilebilmesi anlamında, uzayın üç boyutunun tam bir birleşmesi vardır. Cebirsel olarak, z ekseni çevresinde bir açı içinden bir çevrim şu dönüşüm yoluyla temsil edilir:

$$x = x'\cos\alpha + y'\sin\alpha$$
$$y = y'\cos\alpha - x'\sin\alpha \qquad (27\text{–}1)$$

Böyle bir dönüşüm olmaksızın, üç boyutu bir "sürekli" olarak tekil bir uzaya birleşmiş görmede bile pek haklı olamazdık (örneğin, söz gelimi sıcaklık gibi bir fiziksel niceliği söz gelimi basınç gibi bir başkasına karşı alan keyfi bir çizgede böyle bir birleşme yoktur). O zaman birlikte alınan uzay ve zamanın "geometri"sinde, uzay ve zaman boyutlarının da tekil bir sürekli oluşturmak üzere benzer bir birleşmesinin olup olmadığı sorusu doğal olarak kendini gösterir. (Anımsayalım ki Newton mekaniğinde zaman uzaydan bağımsızdır, ve dolayısıyla orada böyle bir birleşme yer almaz.)

Gerçekte görelilik kuramında *bir tür* birleşmenin yer aldığını görmek için yalnızca z ve τ koordinatlarını z've τ''nin terimlerinde anlatan Lorentz dönüşümüne göndermede bulunmak zorunludur. Bu dönüşüm açıktır ki bir çevrimi hiç olmazsa *andırır*. Bu andırımı daha ayrıntılı olarak ortaya koymak için aşağıdaki gibi tanımlanan bir β *hiperbolik açısı* getirebiliriz:

$$\sinh\beta = \frac{e^{\beta} - e^{-\beta}}{2} = \frac{v}{c}\frac{1}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \qquad (27\text{–}2)$$

$$\cosh\beta = \frac{e^{\beta} + e^{-\beta}}{2} = \frac{1}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \qquad (27\text{–}3)$$

Lorentz dönüşümü o zaman şöyle yazılabilir:

$$\tau = \tau'\cosh\beta - z'\sinh\beta$$
$$z = z'\cosh\beta - \tau'\sinh\beta \qquad (27\text{–}4)$$

Gördüğümüz gibi (27–4) anlatımı (27–1) çevrim dönüşümünden ayrıdır, çünkü ilk olarak $\cosh\beta$ ve $\sinh\beta$ hiperbolik fonksiyonları $\cos\alpha$ ve $\sin\alpha$ trigonometrik fonksiyonlarının yerini alır ve ikinci olarak $\sinh\beta$'nin katsayılarının *her ikisinde* de bir eksi imi varken, buna karşı (27–1)'de $\sin\alpha$'nın katsayılarının birinin bir artı imi, ötekinin ise eksi imi vardır. Buna karşın, bir çevrime andırım henüz bütünüyle güçlüdür, ve bu nedenle (27–4) dönüşümüne bir *hiperbolik çevrim* denir.

Trigonometrik çevrimler ve hiperbolik çevrimler arasındaki özsel ayrım sırasıyla bu dönüşümler altında değişimsiz olan fonksiyonlarda yatar. Böylece XY düzlemindeki bir trigonometrik çevrimde değişimsiz olan şey $x^2 + y^2$ uzaklık fonksiyonudur. Ve $z\tau$ düzlemindeki bir hiperbolik çevrimde değişimsiz olan şey $\tau^2 - z^2$'dir ki, uzaklık fonksiyonundan ayrıdır çünkü τ^2 ve z^2 *karşıt* imler ile girerken, buna karşı ikincide x^2 ve y^2 *aynı* im ile girer.

Eğer şimdi uzayın üç boyutunu ve [zaman] boyutunu irdelersek, denklem (9–7)'den görürüz ki,

$$s^2 = \tau^2 - x^2 - y^2 - z^2 = \tau'^2 - x'^2 - y'^2 - z'^2 \qquad (27–5)$$

fonksiyonu hem uzay ve zamandaki keyfi Lorentz dönüşümleri altında hem de uzayda keyfi çevrimler altında (ve ayrıca x, y, z, τ yansımaları altında) değişimsizdir. Ve daha genel olarak, eğer x_1, y_1, z_1, τ_1 ve x_2, y_2, z_2, τ_2 koordinatları olan iki olayı irdelersek, o zaman iki olay arasındaki *aralık* adı verilen karşılık düşen değişimsiz şudur:

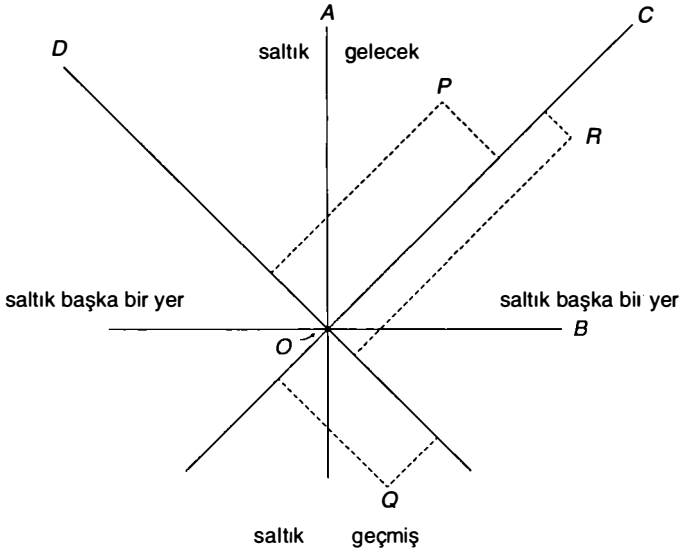
$$s^2 = (\tau_1 - \tau_2)^2 - (x_1 - x_2)^2 - (y_1 - y_2)^2 - (z_1 - z_2)^2 \qquad (27–6)$$

Kolayca görüldüğü gibi (27–6) fonksiyonu sıradan üç-boyutlu uzayda geçerli olan (11–3) uzaklık fonksiyonlarının bir genelleştirilmesidir. Ama (27–6) fonksiyonu birlikte uzay ve zamanda geçerlidir, yeter ki τ sıradan bir çevrim değil ama hiperbolik bir çevrim olan bir Lorentz dönüşümünden geçsin.

O zaman açıkça göründüğü gibi relativistik fizikte uzay ve zaman bir dört-boyutlu sürekliye birleşir ki, bunda (27–6)'da verilen s^2 fonksiyonunun değişimsiz olduğu bir yolda birbirine dönüştürülebilirler. Bu sürekliye "uzay ve zaman" olmaktan çok *uzay-zaman* denir—tire yeni bir birleşme türünü vurgulamak üzere.

Belirtmek gerek ki yukarıda betimlenen uzay ve zaman birleşmesinin görelilik kuramında ortaya koyulmasına karşın, aralarında $(\tau_1 - \tau_2)^2$ ve $(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2$ anlatımlarının değişimsiz s^2 aralığı için formülde *karşıt imler* ile görünmesi olgusundan doğan oldukça önemli ve tuhaf bir ayrım kalır. Bu nedenle, değişik olay çiftleri için s^2 değerinin pozitif, negatif, ya da sıfır olması olanaklıdır. Gerçekten de, $s^2 = 0$ ışık konisini temsil ettiği için, açıktır ki bu koni s^2'nin pozitif ve negatif değerleri ile olaylar arasındaki sınırı oluşturur. Eğer Şekil 27–2'de olaylardan birini, O, koordinatların kökeni olarak seçersek (öyle ki $x^2 = y^2 = z^2 = \tau^2 = 0$), o zaman görürüz ki ışık konisinin *içindeki* bir başka P olayı için s^2 pozitif iken, ışık konisinin dışında olan E gibi olaylar için s^2 negatiftir. Ama s^2 değişimsiz olduğu için, bundan şu çıkar ki *bir olayın bir başkasının ışık konisinin içinde, dışında ya da üzerinde olması özelliği her gönderme çatısında aynıdır.* Böylece gerçi uzay ve zaman bir gönderme çatısı değişiminde belli bir düzeye dek birbirine dönüştürülebilse de, ışık konisinin içindeki bir aralığın ışık konisi dışındaki ya da üzerindeki bir aralığa dönüştürülemeyecek olması anlamında bu dönüşüm üzerinde belli sınırlar vardır.

Şekil 27–2



Şimdi, ışık konisinin içindeki bir aralığın en yalın durumu $x = y = z = 0$ durumudur. Böyle bir aralık yalnızca bir zaman ayrımını temsil eder. Bir Lorentz dönüşümü altında, x', y', z', τ' koordinatları ile bu aralık genel olarak x', y', ve z' koordinatlarının sıfır olmayacağı bir yolda yeni bir aralığa geçer. Gene de, aralığın karesi, değişimsiz olmakla, pozitif kalacaktır. Bu nedenle, pozitif s^2 değerli aralıklara "zaman-gibi/*time-like*" denir, çünkü kimi gönderme çatılarında bunlar aynı yerde olmakta olan olayların yalın bir zaman ayrımına karşılık düşer.

Öte yandan, ışık konisinin dışındaki en yalın aralık durumu bir $\tau = 0$ durumudur. Olayların uzaydaki bir ayrılığına karşılık düşen böyle bir aralık s^2'nin negatif bir değeri ile temsil edilir. Eğer böyle bir aralık yeni bir gönderme çatısına dönüşürse, o zaman genel olarak τ' sıfır olmaya son verecek, ama s^2 değişimsiz ve dolayısıyla negatif kalacaktır. Böyle aralıklara "uzay-gibi" denir, çünkü bunlar kimi gönderme çatılarında eşzamanlı olayların uzaysal bir ayrılığına karşılık düşer.

O zaman, toparlarsak açıktır ki uzay ve zaman koordinatları gönderme çatısının hızının bir değişiminin sonucu olarak birbirine dönüştürülebilirken, uzay-gibi ve zaman-gibi olaylar arasındaki ayrım değişimsizdir, tüm gözlemciler için aynıdır. Benzer olarak, ışık konisi üzerinde olma, ve dolayısıyla ne bir uzay-gibi ne de bir zaman-gibi aralık olma karakteri de değişimsiz bir karakterdir. Böylece uzay ve zaman arasında belli bir tür ince ayrım saklanır (dönüşüm altında kendi aralarında *tam* değiştirilebilirlikten yoksun olma anlamında), ve bu uzay-zamanın dörtboyutlu sürekliye birleşmesi olgusuna karşın böyledir (buna karşı, eğer

z ve τ sıradan bir trigonometrik çevrime konu olsaydı, uzay ve zamanın *tam* bir eşdeğerliği doğar ve böylelikle z ve τ için kendi aralarında bir değişim olanaklı olurdu—x ve y'nin kendi aralarında bir 90°'lik çevrim yoluyla değiştirilebilmesi gibi).

Minkowski çizgesinde bir P olayının ışık ışınlarının yönündeki u, v koordinatlarının ölçülmesi yoluyla uzay-gibi, zaman-gibi ve "sıfır" aralıklar (e.d. ışık konisi üzerindeki aralıklar, ki bunlar için $s^2 = 0$) arasındaki değişimsiz ayrım üzerine daha öte içgörü kazanılabilir. Böyle bir yordam $z\tau$ eksenlerinin 45°'lik bir çevrimine karşılık düşer.

Şunu elde ederiz:

$$u = \frac{\tau - z}{\sqrt{2}} \qquad v = \frac{\tau + z}{\sqrt{2}}$$

$$uv = \frac{\tau^2 - z^2}{2} = \frac{s^2}{2} \tag{27–7}$$

Böylece yeni eksenler kümemizin terimlerinde, değişimsiz s^2 değeri u ve v değerlerinin *çarpımıdır*. Bir ışık ışını $s^2 = 0$'a karşılık düşer, ve dolayısıyla ya $u = 0$ ya da $v = 0$'a karşılık düşer. $u = 0$ yeri OC çizgisini simgelerken, $v = 0$ ise OD çizgisini simgeler.

Işık konisinin içinde ve O'dan daha geç olan P gibi bir nokta (bkz. Şekil 27–2) hem u hem de v için pozitif değerler taşır. Öte yandan, ışık konisinin içinde ama O'dan daha erken olan Q gibi bir nokta u ve v için *negatif* değerler taşır. Işık konisinin dışındaki noktalar (F gibi) ya pozitif u ve negatif v ya da pozitif v ve negatif u değerlerini taşımalıdır.

Lorentz dönüşümleri (27–4) altında u ve v'nin nasıl değiştiğini görelim. Şunları elde ederiz

$$u = \frac{\tau - z}{\sqrt{2}} = \frac{(\cosh\beta)\tau' - (\sinh\beta)z' - (\cosh\beta)z' - (\sinh\beta)\tau'}{\sqrt{2}}$$

$$= \frac{e^{\beta}}{\sqrt{2}}(\tau' - z') = e^{\beta}u' \tag{27–8}$$

$$u = \frac{\tau + z}{\sqrt{2}} = \frac{(\cosh\beta)\tau' - (\sinh\beta)z' + (\cosh\beta)z' - (\sinh\beta)\tau'}{\sqrt{2}}$$

$$= \frac{e^{-\beta}}{\sqrt{2}}(\tau' + z') = e^{-\beta}v' \tag{27–9}$$

O zaman görürüz ki bir Lorentz dönüşümü altında, u ve v özellikle yalın bir dönüşüme uğrar, çünkü her biri sırasıyla bir çarpan (e^{β} ve $e^{-\beta}$) ile çarpılır ki ötekinin çarpıldığı çarpanın karşılısıdır (bu nedenle uv değişimsiz kalır). Şimdi dolaysızca $u' = 0$ ya da $v' = 0$'a götüren ve böylece ışık hızının değişimsizliğini çok doğrudan bir yolda gösteren özel bir durum olarak bir ışık ışınını ($u = 0$, ya da $v = 0$) irdeliyoruz.

Lorentz dönüşümü açıktır ki ışık ışınlarından birinin yönünde bir e^{β} çarpanı kadar bir uzama, ve ötekinin yönünde evrik çarpan $e^{-\beta}$ kadar bir

kasılmadır. Eğer uzay-zamanda herhangi bir "alan" öğesini irdelersek, açıktır ki böyle bir dönüşüm altında bu öğe bir tür "kırpılma"ya uğrar—kırpılmanın "eksenleri" iki ışık ışınına karşılık düşen çizgiler üzerinde olmak üzere. Böylece gerçek (ya da trigonometrik) bir çevrim olmak yerine, uzay-zaman dönüşümü bir hiperbolik çevrimdir ki, gördüğümüz gibi, edimsel olarak olayların kalıbında yer alan bir kırpılmadır.

Şimdi yukarıda betimlenen kırpılma dönüşümünde u ve v değerleri her zaman *pozitif* olan e^{β} ve $e^{-\beta}$ çarpanları ile çarpılır. Bundan şu çıkar ki O'nun ışık konisi içindeki olayların O'dan daha erken ya da daha geç olarak ayrımı değişimsiz bir ayrımdır. Böylece, yalnızca olayların O'nun ışık konisi içinde, dışında ya da üzerinde olmak üzere değişimsiz karakteristiklerini değil, ama ayrıca ışık konisi içindeki olayların O'nun geleceğinde (O'dan geç) ya da O'nun geçmişinde (O'dan erken) olması özelliğinin değişimsizliğini de elde ederiz.

Benzer bir yolda kolayca görülür ki ışık konisi *üzerindeki* olaylar için daha erken olanlar ve daha geç olanlar arasında da değişimsiz bir ayrım vardır. Çünkü ışık konisi üzerinde ya $u = 0$ ya da $v = 0$ olur, ve sıfır olmayan hangisi olursa olsun O'dan daha geç bir olay için pozitif ve O'dan daha erken bir olay için negatif olmalıdır.

Öte yandan, O'dan daha erken ya da daha geç olma karakteristiği *ışık konisi dışındaki* bir olay için değişimsiz değildir. Şekil 26–1'e dönerek, örneğin laboratuar gönderme çatısında O ile eşzamanlı olan B olayını irdeleyelim. Laboratuar ile (OE evren çizgisi ile) göreli olarak bir v hızında devinen Ω_2 gözlemcisinin gönderme çatısında onun tarafından O ile eşzamanlı olarak ölçülen bir olay OF çizgisi üzerinde olan ve dolayısıyla laboratuar gönderme çatısında O ile eşzamanlı *olmayan* B' gibi bir noktaya karşılık düşecektir. Eğer v hızı için *tüm olanaklı* değerleri irdelersek, görürüz ki O'dan geçen ışık konisinin dışındaki *herhangi bir* nokta *belli bir* gözlemci tarafından O ile eşzamanlı olarak ve uygun hızları olan değişik gözlemciler tarafından ya O'nun geçmişinde ya da O'nun geleceğinde görülecektir. Böylece birbirlerinin ışık konilerinin içindeki olayların benzersiz bir zaman düzeni varken (tüm gözlemcilerin hangisinin daha erken ve hangisinin daha geç olduğu konusunda anlaşacak olmaları anlamında), buna karşı birbirlerinin ışık konilerinin dışındaki olaylar için böyle bir düzen yoktur.

XXVIII

Nedensellik Sorusu ve Görelilik Kuramında Sinyallerin Yayılımının Maksimum Hızı

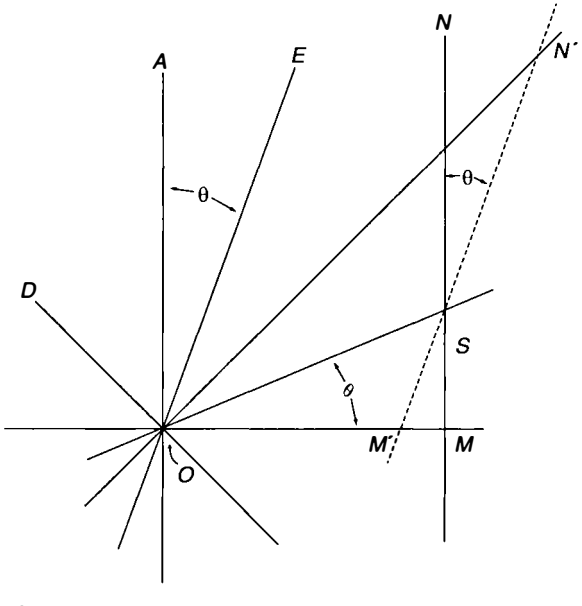
Önceki bölümde gördük ki birbirinin ışık konileri dışındaki bir olaylar çifti için, değişik gözlemciler genel olarak hangisinin daha erken ve hangisinin daha geç olduğu konusunda anlaşmayacaklardır. İlk bakışta düşünülebilir ki bu ikircim nedensellik sorusunu karıştıracaktır. Böylece, eğer *A B*'nin nedeni ise, *A*'nın ya *B*'den önce ya da *B* ile aynı zaman yer alması gerektiği apaçık bir sorundur. Yarın beklenen bir olay bugün daha şimdiden yer almakta olanın bir nedeni olarak alınamaz. Çünkü, bir *B* olayının nedeni ile demek istediğimiz şey *A*'nın koşullarından biridir ki bulunduğu için ve etkin olduğu için *B*'nin ortaya çıkışına götürür. Böylece bugün etkin olan bir yangın şimdi bir miktar patlatıcıyı ateşleyebilir, ama yarının yangını bu patlayıcıları bugün ateşlemeyecektir.

Öyle görünür ki eğer bütünüyle keyfi bir yolda geçmiş, şimdi ve geleceğin düzenlerini kendi aralarında değiştirmemize izin verilseydi, sonuç hem fizikte hem de gündelik yaşamda karışık olurdu. Örneğin varsayalım ki bir gözlemci bir yakıtın yanmasının suyun ısınması tarafından *izlendiğini* görürken, buna karşı bir başka gözlemci için ilkin su ısınıyor ve yakıt daha sonra yanıyor olsun. Ya da varsayalım ki bir gözlemci ilkin acıkırken ve açlığını doyuran yemeğini yerken, tok olan bir başka gözlemci ise yemeğini yesin ve sonra acıksın. Böyle örnekler hiç durmadan arttırılabilir, ve eğer olayların zaman düzeninde *keyfi* değişimler yapabilseydik dünyaya bir anlam veremeyeceğimizi açıkça gösterir. Soru o zaman bir gözlemcinin ışık konisinin dışındaki olayların zaman

düzenindeki relativistik ikircimin neden ve etki problemini karıştırıp karıştırmayacağını görmektir.

Bu soruyu yanıtlarken, ilkin Bölüm 14'te belirtildiği gibi, hiçbir nesne, etki ya da kuvvetin vb. c ışık hızından daha hızlı devinemeyeceğini ya da başka herhangi bir yolda iletilemeyeceğini anımsıyoruz. O zaman bu koşul doyurulduğu sürece zaman düzenindeki relativistik ikircimin nedensellik sorusunu karıştırmayacağını görmek kolaydır. Çünkü eğer bir A olayı bir başka B olayının nedeni ise, aralarında bir tür fiziksel eylem ya da değme olmalıdır. (Eğer ne olursa olsun hiçbir fiziksel değme yoksa, o zaman biri ötekinin nedeni olamaz.) Ama eğer böyle fiziksel eylem ışıktan daha hızlı iletilmiyorsa, o zaman nedensel olarak bağıntılı olan herhangi iki olayın, önceki bölümde gördüğümüz gibi, benzersiz ve ikircimsiz bir zaman düzeni olacaktır. Başka bir deyişle, eğer bir gözlemci için bir A nedeni B etkisinden daha erken ise, bu ilişki tüm gözlemciler için geçerli olacaktır. Öyleyse, neden ve etki düzeni değişmez olacak, öyle ki her biri kendi gönderme çatısında olmak üzere ayrı gözlemciler aynı olaylar kümesini irdelerken hiçbir karışıklık doğmayacaktır.

Şekil 28–1



Öte yandan, eğer herhangi bir etki ışıktan daha hızlı gidebilseydi, o zaman neden ve etki düzeni kavramı tam olarak karışırdı. Bunu görmek için, fiziksel etkilerin sonsuz hızlar ile iletilebildiği ve böylece iki uzak gözlemcinin *eşzamanlı* değme içinde olabildiği aşırı bir durumu irdeleyelim. Bu gözlemcilerden biri, Ω_1, Şekil 28–1'de evren çizgisi OA ile temsil edilirken, aynı hızla yol alan öteki, Ω_3, ise MN evren çizgisinde bulunuyor olarak görülsün. Önsavımıza göre, O ile temsil edilen zamandaki gözlemci Ω_1 M ile temsil edilen zamandaki öteki gözlemci Ω_3 ile dolaysız fiziksel değme durumunda olabilecek, ve böylece her biri örneğin bu değme ilişkisini ötekine sinyal göndermek için kullanabilecektir.

Şimdi, eğer ışık hızının değişimsizliğini içeren bir görelilik ilkesi olmasaydı, bu sayıltı kendi ile hiçbir mantıksal çelişkiye yol açmazdı. Aslında yalnızca verili bir kıpıda gördüğümüz şeyin bizimle dolaysız değme durumunda olduğu ve herşeyin "şimdi" dediğimiz aynı zamanda yer almakta olduğu biçimindeki "sağ-duyu" anlayışına karşılık düşerdi.

Bununla birlikte, Einstein tarafından geliştirildiği biçimiyle görelilik ilkesinin, e.d. fizik yasalarının *tüm* gözlemciler için aynı biçimi taşıdığı, ve tüm gözlemcilerin ışığa aynı hızı yüklediği görüşünün daha öte imlemlerini irdelemeyi sürdürelim. Daha önce gördüğümüz gibi, bundan şu çıkar ki göreli olarak devinen iki gözlemci hangi olaylar kümesinin eşzamanlı olduğu konusunda birbiri ile anlaşamaz. Böylece evren çizgisi OE ile Ω_2 gözlemcisi OF çizgisi üzerindeki olayları O ile eşzamanlı olarak görecek, ve bu arada (OA evren çizgisi ile) Ω_1 ise OB üzerindeki olayları eşzamanlı olarak görecektir. Ama görelilik ilkesine göre Ω_1 gözlemcisinin gönderme çatısında geçerli olan tüm genel yasalar Ω_2 gözlemcisinin gönderme çatısında da geçerli olacaktır. Öyleyse, eğer Ω_1 gözlemcisinin *kendi* gönderme çatısında O ile eşzamanlı olan bir M olayı ile değme durumunda olabildiği varsayılırsa, göreli olarak devinen gözlemci, Ω_2, *kendi* gönderme çatısında O ile eşzamanlı olan bir S olayı ile değme durumunda olabilir.

Şimdi MN evren çizgisi ile Ω_3 gözlemcisini irdeleyelim. S'ye karşılık düşen zamanda onun evren çizgisi Ω_2 ile aynı hızda devinen ve evren çizgisi $M'N'$ olan bir Ω_4 gözlemcisinin evren çizgisi ile kesişir. Aynı S noktasında ama değişik hızlarda olan iki gözlemci açıktır ki özsel olarak dolaysız değme durumunda olabilir, öyle ki bir sinyalin birinden ötekine geçmesi için hiçbir zaman aralığına gerek yoktur (ya da bu aralık gözardı edilebilir). O zaman, görelilik ilkesine göre, Ω_4 gözlemcisi O'daki (ki Ω_2 gözlemcisinin çatısında S ile eşzamanlıdır) Ω_2 gözlemcisine dolaysızca sinyal gönderebilmek için Ω_1 gözlemcisinin M'deki Ω_3 gözlemcisine sinyal gönderebilmek için taşıdığı aynı olanağı taşıyor olmalıdır. O zaman Ω_2 gözlemcisi O'daki Ω_1 gözlemcisine sinyal gönderebilir, ve Ω_1 gözlemcisi M'deki (ki Ω_1 ve Ω_3'ün gönderme çatısında O ile eşzamanlıdır) Ω_3 gözlemcisine sinyal gönderebilir. Bu sinyaller döngüsü yoluyla $S\,M$ ile iletişim kurabilir, ve evrik olarak. Ama $M\,S$'nin *geçmişindedir*. Böylece, sonuçta, $S\,M$'de kendi geçmişi ile iletişim kurabilecek ve geçmiş 'kendi'sine geleceğinin ne olacağını söyleyebilecektir. Ama bunu öğrenmesi üzerine M eylemlerini değiştirmeye karar verebilecek, ve böylelikle S'deki geleceği geç 'kendi'sinin olacağını söylediğinden başka türlü olacaktır. Örneğin geçmiş 'kendi' gelecek kendi için sinyal göndermeyi olanaksızlaştıracak birşey yapabilir. Böylece mantıksal bir kendi-ile-çelişki doğacaktır.

Yukarıdaki uslamlama çizgisinin bir genelleştirilmesi yoluyla kolayca gösterilebilir ki, eğer fiziksel değme ilişkisinin ışık hızından daha büyük herhangi bir hız ile iletildiği varsayılırsa, benzer bir çelişki doğacaktır.

Böylece görürüz ki Einstein'ın görelilik kuramını kabul ettiğimiz sürc-

ce, ışıktan daha hızlı iletilen bir sinyalin temelini fiziksel değme yoluyla oluşturmaya yetenekli olan herhangi bir eylemin olduğunu varsaymak bir saçmalığa götürür. Başka bir deyişle, ya ışıktan daha hızlı hiçbir fiziksel eylemin olmadığını kabul etmemiz, ya da Einstein'ın görelilik ilkesine verdiği biçimden vazgeçmemiz gerekir. Ama şimdiye dek görelilik ilkesinin bu biçimi olgular tarafından doğrulanmıştır. Bundan başka, daha önce gördüğümüz gibi, şimdiye dek edimsel olarak ışıktan daha hızlı iletilen hiçbir fiziksel eylem keşfedilmemiştir (örneğin özdeksel nesneler ışık hızına ivmelendirilemez, çünkü bu sonsuz enerji gerektirecektir, ve bu arada etkileri ışıktan daha hızlı yaydığı bilinen hiçbir alan yoktur). Hiç kuşkusuz, Einstein'ın kuramı, tüm başka kuramlar gibi, deneyler daha geniş alanlara yayıldıkça ilkede yanlışlanmaya açıktır. Ama bu kuramın geçerli olduğu alanda kaldığımız sürece (ve şimdiye dek, bilinen deneyler bugün olduğu gibi geçmişte de böyle bir alana sınırlıdır), ışıktan daha hızlı iletilen fiziksel eylemler üretmek olanaklı olmayacaktır.

Bir *O* olayı verildiğinde, başka herhangi bir *P* olayı, gördüğümüz gibi, değişimsiz bir ayrım altında duran uzay-zaman bölgelerinin belli bir kümesi içine düşmelidir (bkz. Şekil 27–2). Eğer ışık konisinin içinde ya da üzerinde ise, o zaman bu olay ya *O*'nun geleceğinde ya da *O*'nun geçmişindedir. Bu ayrım gönderme çatısından bağımsız olduğu için, belli bir anlamda "saltık" olduğu söylenebilir (en azından Einstein'ın kuramının geçerli olduğu alanda). *O*'dan "ileriye doğru" giden ışık konisine, artı, ondaki herşeye, o zaman *O*'nun "saltık geleceği/*absolute future*" denir, ve bu arada karşılık düşen "geriye doğru" ışık konisine, ve ondaki herşeye, *O*'nun "saltık geçmişi/*absolute past*" denir. Işık konisinin dışındaki bölge çok uygun olarak *O*'nun "saltık başka bir yeri/*absolute elsewhere*" olarak adlandırılmıştır. Çünkü bu bölgenin *O* ile ne olursa olsun hiçbir doğrudan değme ilişkisi yoktur, ve dolayısıyla özsel olarak "başka bir yer"dir. Böylece, eğer uzak bir yıldızı düşünürsek, ancak o yıldızın uzun bir süre *önce* olduğu şey ile değme ilişkimiz vardır. Bu yıldızın "şimdi" varolması yalnızca yıldızların özelliklerine ilişkin genel bilgimiz üzerine dayalı olası bir çıkarsamadır. Ama edimsel olarak "şimdi" varolduğunu *bilmeyiz*. Örneğin daha şimdiden patlamış olabilir. *Daha sonra* biz (ya da başka gözlemciler) bu patlamayı görebiliriz. Ama "şimdi" olan şeyde bu yıldıza ne olursa olsun, "şimdi" bizim saltık 'başka bir yerimiz'in bizimle hiçbir değme ilişkisi olamaz. (Daha sonra evren çizgimiz üzerinde bizi şimdi temsil edenden başka bir nokta ile temsil edilmemiz gerekecektir.)

İki olay birbirinin saltık 'başka bir yer'inde olduğu ve böylece aralarında hiçbir fiziksel değme ilişkisi olmadığı zaman, birbirinden önce ya da sonra olduklarını söylememiz arasında hiçbir ayrım yoktur. Bunların göreli zaman düzenlerinin salt uylaşımsal bir karakteri vardır, şu anlamda ki, uylaşımların tutarlı bir yolda uygulanması koşuluyla, uygun olan böyle herhangi bir düzen yüklenebilir. Ve gördüğümüz gibi,

ayrı hızlarda devinen ve bir r uzaklığındaki bir noktadan ışığın onlara ulaşması için geçen Δt zamanı için $\Delta t = r/c$ formülü ile düzeltme yapan gözlemciler böyle olayları gözlemcinin hemen yakınlarında yer alan bir olaydan önce, sonra ve onunla eşzamanlı olarak saptamak için ayrı uylaşımlara varacaklardır. Ama olayların nedensel bağıntı ilişkisinin temeli olan hiçbir fiziksel değme ilişkisi olmadığı sürece, hangisinin önce ve hangisinin sonra olduğu konusunda ne dediğimizin hiçbir önemi yoktur. Öte yandan, gördüğümüz gibi, böyle nedensel bağıntının olanaklı olduğu yerde, olayların düzeni ikircimsizdir, öyle ki Lorentz dönüşümü neyin bir neden ve neyin bir etki olduğu konusunda hiçbir zaman karışıklığa götürmeyecektir.

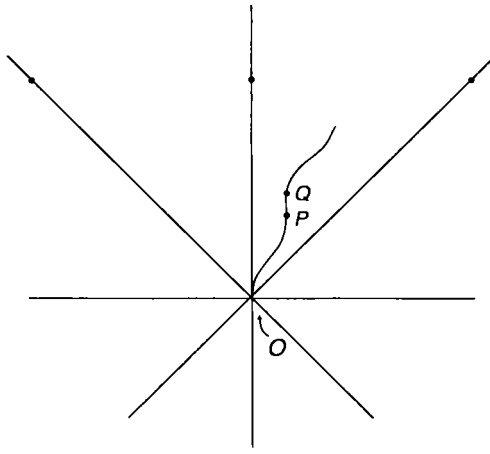
XXIX

Asıl Zaman

Şimdiye dek değişmez bir hız ile devinen gözlemciler için geçerli olan özel görelilik kuramının imlemini tartıştık. Daha önce belirttiğimiz gibi (Bölüm 16), eğer özel göreliliğin alanı içerisinde kalırsak, ivmelenen bir gözlemcinin gönderme çatısında görelilik ilkesi doğru olarak uygulanamaz. Başka bir deyişle, giderek ivmeli gönderme çatıları için bile aynı ilişkileri oluşturan (e.d. aynı biçimi taşıyan) yasalar elde etmek için, kavramsal temelimizi genişletmek ve genel görelilik kuramına geçmek zorunludur. Gene de, bu demek değildir ki özel kuram ivmeli gözlemcilere ne olacağı konusunda ne olursa olsun hiçbir tahminde bulunamaz. Yalnızca demektir ki eğer böyle tahminlerde bulunmayı istersek, temel fizik yasalarını formüle ederken ivmesiz bir gözlemcinin duruş noktasını kabul etmemiz gerekecektir. Bu duruş noktasından başlayarak o zaman *her bir kıpıda* bu yasaların imlemlerini dönüştürmek ve böylece ivmeli gönderme çatısından bakıldığında neye yol açacaklarını görmek olanaklıdır. (Benzer bir yordam gerçekte Newton mekaniğinde geliştirilir, ki bunun yasaları süredurumlu bir gönderme çatısı üzerine dayanır ve gene de devim denklemlerinde örneğin özekkaç kuvvet ve Coriolis kuvveti gibi ek terimlere götüren ivmeli bir gönderme çatısına dönüştürülebilir.)

Bu soruyu incelemek için ilk olarak değişmez bir hız ile devinen bir gözlemcinin gönderme çatısında bir başka ivmeli gözlemcinin eğri bir evren çizgisi (bkz. Şekil 29–1) ile temsil edildiğine ve bu evren çizgisinin içinden geçtiği herhangi bir O noktasına ait ışık konisinin içerisindeki bir yerde kaldığına dikkat ediyoruz. Şimdi bu evren çizgisinde tikel bir P noktası ve yakın bir Q noktası düşünelim. Eğer Q noktası P noktasına yeterince yakınsa, eğriye koordinatların $t_Q - t_P = dt$ ve $z_Q - z_P = dz$ ayrışımlıları yoluyla yaklaşabiliriz. P noktasında ivmeli gözlemcinin hızı v ve Q noktasında $v + dv$ olsun.

Şekil 29–1



İvmeli bir gönderme çatısında özel görelilik kuramının imlemlerinin çıkarsanmasını olanaklı kılan temel kavram *yerel olarak eş-devimli ivmesiz gönderme çatısı* kavramıdır. Bu kavramın neyi imlediğini görebilmek için, v hızı ile devinen P noktasında başlayalım. Edimsel gözlemci, varsaydığımız gibi, ivmelidir. Ama P noktasında (değişmez) v hızı ile devinen ivmesiz bir gözlemciyi imgeleyebiliriz. Böyle bir gözlemci açısından önemli olan nokta yeterince kısa bir zaman dönemi, dt, sırasında, *ivmeli gözlemcinin eş-devimli gözlemci ile göreli hızının çok küçük olan dv düzeninde olacak olmasıdır.* Daha önce görmüştük ki düşük hızlar için Einstein'ın kuramı bir sınırlayıcı durum olarak Newton yasalarına yaklaşır. Buna göre, en azından bir dt zaman dönemi boyunca, dizgenin devimleri değişmez v hızında olan gönderme çatılarında geçerli olan Newton yasalarının terimlerinde tartışılabilir. O zaman laboratuar gönderme çatısında bu yasaların imlemleri bir Lorentz dönüşümü aracılığıyla görülebilir. Böylece, dv değeri belirgin olunca, doğrudan doğruya $v + dv$ vb. değişmez hızı ile devinen bir başka gönderme çatısına geçeriz. Bu yolla böyle bir dizi eş-devimli gönderme çatısını irdeleyerek, değişmeyen bir hızı olan bir gözlemci (örneğin laboratuar gönderme çatısında) tarafından neyin görüleceğini bir dizi karşılık düşen Lorentz dönüşümünün yardımıyla hesaplayabiliriz. Ya da, evrik olarak, herhangi bir verili kıpıda bir eş-devimli gözlemci tarafından neyin görüleceğini hesaplamak için, laboratuar gönderme çatısında gözlenmiş olanla başlamak üzere benzer bir yordamı kullanabiliriz.

Yukarıda betimlenen yordamın önemli bir örneği söz gelimi OPQ gibi verili bir evren çizgisi boyunca ivmelenen bir saat tarafından kaydedilen "asıl zaman"ın hesaplanmasıdır. Bunu yaparken yukarıda betimlenen ilkeden yararlanırız, e.d. yeterince kısa bir zaman aralığı, dt, sırasında (ki bunda dv çok küçüktür), eş-devimli gönderme çatısında görüldüğü

gibi saat özsel olarak uygun yapılı saatlerin hızlarının saatlerin nasıl ivmelendiğine bağımlı olmadığını ileri süren Newton mekaniğine göre davranacağı gibi davranacaktır. Öyleyse dt aralığı boyunca saatler bir dt_0 aralığını kaydedeceklerdir ki, bunun dt ile ilişkisi eş-devimli gözlemcinin çatısından laboratuar çatısına bir Lorentz dönüşümü yoluyla belirlenir. Bu ilişki şu değişimsiz fonksiyonun irdelenmesi yoluyla kolayca elde edilir:

$$ds^2 = c^2(dt)^2 - (dz)^2 \tag{29–1}$$

Eş-devimli gönderme çatısında $dt' = dt_0$ ve $dz' = 0$ (çünkü bu gönderme çatısında saat dinginliktedir). Öyleyse $ds^2 = c^2 dt_0^2$ ve

$$\frac{ds^2}{c^2} = dt_0^2 = (dt)^2 - (dz)^2 / c^2$$

$$\frac{dt_0}{dt} = \sqrt{1 - (dz/dt)^2 / c^2} = \sqrt{1 - (v^2/c^2)} \tag{29–2}$$

t_1 ve t_2 arasındaki deviminde ivmelenen saat tarafından kaydedilen "asıl zaman"ın Δt_0 aralığı o zaman (29–2)'nin tümlevinin alınması yoluyla hesaplanabilir. Sonuç

$$\Delta t_0 = \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{1 - \frac{v^2(t)}{c^2}}\, dt \tag{29–3}$$

Bu formül kolayca uzayın üç boyutuna genişletilebilir, çünkü v^2 yerine bütünsel hızın karesini, $v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$ geçirirsek, üç boyut için geçerli olmayı sürdürür.

(29–3)'ten açıktır ki $\sqrt{1 - (v^2/c^2)} \leq 1$ olduğu için, verili bir gönderme çatısı ile göreli olarak devinen bir saat tarafından kaydedilen asıl zaman genellikle o gönderme çatısında durağan olan saatler tarafından ölçülen zaman ayrımından daha küçüktür.

XXX

İkizler "Paradoksu"

Önceki bölümün sonuçlarının temelinde şimdi görelilik kuramının götürdüğü görünürde paradokslardan birini, iyi bilinen ikizler paradoksunu betimleyebiliriz.

Bir çift "özdeş" ikiz düşünelim. Bunlardan biri Yeryüzünde kalırken, öteki ışık hızına yakın bir hıza erişme yeteneğinde olduğunu varsaydığımız bir uzay gemisinde bir yolculuğa çıksın. Yolculuğu yapan ikiz Yeryüzüne geri döndüğünde uzay gemisindeki saatler bir

$$\Delta t_0 = \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{1 - \frac{v^2(t)}{c^2}}\, dt$$

zaman aralığının geçtiğini gösterirken, Yeryüzünde kalan ikizin benzer olarak yapılmış saatleri $t_2 - t_1 > \Delta t_0$ gibi bir zaman aralığının geçtiğini gösterecektir. Ama, daha önce gördüğümüz gibi, tüm fiziksel, kimyasal, sinirsel, fizyolojik vb. süreçler saatler için geçerli olan aynı Lorentz dönüşümü altında duracaktır. Öyleyse, yolculuğa çıkan ikiz Yeryüzünde kalandan tüm bakımlardan daha kısa bir zaman geçirmiş olacaktır. Ve eğer uzay gemisinin hızı ışık hızına yakın olmuşsa, bu zaman ayrımı dikkate değer olabilecektir. Örneğin, Yeryüzünde kalan insan için 20 yıl geçmişse, uzay gemisinde olan için yalnızca bir ya da iki yıl geçmiş olabilecektir.

Bu vargının önemini tartışmaya geçmeden önce, ilk olarak belirtelim ki vargı gönderme çatısının nasıl devindiğinden bağımsız olarak fizik yasalarının aynı ilişkileri sürdürmeleri gerektiğini ileri süren görelilik ilkesini çiğnemez. Çünkü, önceki bölümde belirttiğimiz gibi, şimdiye dek kendimizi fizik yasalarını yalnızca değişmez bir hızda devinen gözlemciler için değişimsiz olarak kabul eden özel görelilik kuramına sınırladık. Bu kuramın vargıları açıktır ki her iki gözlemcinin gönderme çatılarında simetrik olarak uygulanamaz, çünkü bunlardan biri ivme-

lenirken öteki ivmelenmez. Bu nedenle gözlemcileri kendi aralarında değiştirmek, ve örneğin uzay gemisindeki gözlemcinin eşit olarak laboratuardaki ikizini onun yaşlandığından daha az yaşlanmış olarak göreceğini söylemek geçerli değildir. Tersine, özel görelilik kuramı içerisinde kaldığımız sürece, ivmelenmeyen gönderme çatısına fizik yasalarının anlatımında benzersiz bir rol vermemiz gerekir; ve bu yolda değişik devim türlerinden geçen gözlemcilerin, yeniden buluştuklarında, nasıl değişik zaman sürelerinden geçtiklerini bulduklarını açıklarız.

İvmelenmeyen gözlemciler için olduğu gibi ivmelenen gözlemciler için de aynı olan yasalar elde etmek için, genel görelilik kuramına geçmeliyiz. Ama bunu yapmak için *yerçekimi alanını* getirmeliyiz. Einstein'ın gösterdiği gibi, ivmelenen bir gönderme çatısında bir yerçekimi alanı tarafından üretilecek olanlara eşdeğer olan yeni etkiler yer almalıdır. Gerçekten de, ivmelenen gözlemcinin bakış açısından, denebilir ki ek bir etkili yerçekimi alanı vardır ve genel çevre (yıldızlar, gezegenler, Yeryüzü vb.) üzerinde etkide bulunur ve bu çevrenin uzay gemisi ile göreli ivmesini açıklar.

Genel görelilik kuramına göre, ayrı yerçekimi gizilgücü olan yerlerde işleyen iki saatin ayrı hızları olacaktır. Eğer uzay gemisindeki gözlemci Yeryüzündeki gözlemci tarafından kullanılan aynı genel görelilik yasalarını kullanırsa, ama kendi gönderme çatısında uygun olan yerçekimi gizilgüçlerini irdelerse, o zaman iki tür saatin hızlarının bir ayrımını tahmin edecektir. Ve, daha öte bir hesaplamanın gösterdiği gibi, bu zaman ayrımı konusunda Yeryüzündeki gözlemci tarafından elde edilenler ile aynı vargılara ulaşacaktır (Yeryüzündeki gözlemci için genel görelilik yasaları özel görelilik yasalarına indirgenir, çünkü gözlemci ivmelenmez). Böylece, kuram ivmeli gönderme çatıları için geçerli olmaya yetecek denli genelleştirildiğinde, ikizlerin ayrı "yaşlanma" dereceleri görelilik ilkesi ile tam olarak bağdaşabilirdir.

İkizlerin yaşlanmalarındaki ayrım niçin pekçok insana onu ilk kez duyduklarında paradoksal görünür? Yanıt temel olarak bizi duyu algılarımızda eş-bulunuşlu olan herşeyi kendiliğinden "şimdi" dediğimiz aynı zamanda yer alıyor olarak görmeye götüren alışkısal düşünce kipinde yatar. Böylece, gece gökyüzünde yıldızlara baktığımızda, bütün bir gökküreyi "şimdi" var olarak, algılama edimimiz ile eşzamanlı olarak görmenin önüne geçemeyiz. Bir sonuç olarak, hemen hemen daha öte bilinçli hiçbir düşünce olmaksızın, eğer bir uzay gemisi uzaya gitmişse, onu gözlemeyi sürdürebileceğimiz, ya da onunla herhangi bir başka yolda dolaysız ilişki içinde kalabileceğimiz sayıltısına götürülürüz, onun karşılaştığı her olayı (örneğin bir saatin tik takları) aynı zamanda kendimizin yaşadığımız karşılık düşen olaylar ile karşılaştırırız. Geri döndüğü zaman, tanışık olduğumuz tüm dizgeler durumunda gerçekten de olduğu gibi, aynı zaman miktarını yaşamış görünür (bu dizgeler hiç kuşkusuz ışık hızı ile ilişki içinde çok düşük olan hızlar ile devinir).

Hiç kuşkusuz şimdi gece gökyüzünde gördüğümüz şeyin tam olarak

onu algıladığımız kıpıda edimsel olarak yer almadığı, ama tersine, gördüğümüz herşeyin geçip gitmiş olduğu çok iyi bilinir (örneğin uzak nebulalar yüz milyon yıl ya da daha uzun bir süre önce oldukları gibi görünür). Dahası, gördüğümüz şeyin edimsel olarak *ne zaman* varolduğu konusundaki yargımız ışığın bize ulaşmak için gereksindiği zaman ile ilgili $\Delta t = r/c$ düzeltmesi üzerine dayanır. Ve, daha önceki bölümlerde ortaya koyduğumuz gibi, bu düzeltme tüm gözlemciler için aynı değil, ama hızlarına bağımlıdır. Bir sonuç olarak, her bir olay için benzersiz bir zaman saptama yönündeki alışkısal davranışımızın bundan böyle fazla bir anlamı yoktur. Ve eğer uzak olaylar için tüm geçerli zaman ölçme yöntemlerinde aynı kalan benzersiz bir yer alış zamanı yoksa, o zaman bundan böyle birbirinden ayrılan ve daha sonra buluşan iki gözlemcinin zorunlu olarak aynı zaman miktarını geçirecek olduğunu kabul etmek için herhangi bir geçerli neden yoktur.

Sezgisel eşzamanlılık kavramlarımızın ortaya çıkarma eğiliminde olduğu problem türünü daha keskin olarak ortaya koyabilmek için, eğer her bir gözlemci ötekine kendi saatleri ile ölçüldüğü gibi düzenli (diyelim ki saniyede bir) bir ışık ya da radyo sinyali gönderirse edimsel olarak ne olacağını irdeleyelim. O zaman her bir gözlemci öteki için zamanın nasıl geçmekte olduğunu "görebilir," ve böylece ikisi için ayrı zaman miktarları algılamanın nasıl olanaklı olduğunu araştırabilir.

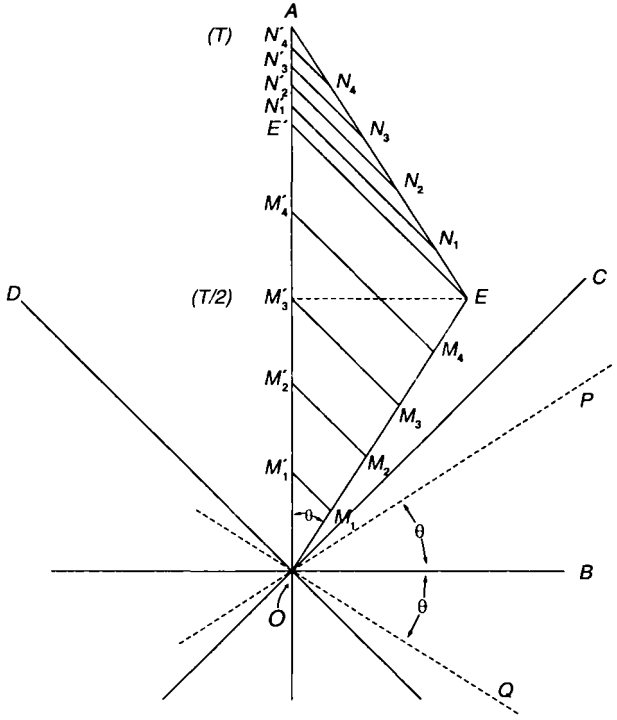
Laboratuarda kalan gözlemci tarafından neyin görüleceği konusunda bir tartışma ile başlayalım. Problemi yalınlaştırmak için, uzay gemisinin başlangıçta bir v hızına öylesine kısa bir zaman aralığında ivmelendiğini varsayıyoruz ki, ivmeyi gerçekte kıpısal olarak görebiliriz. Uzay gemisinin laboratuar gönderme çatısında ölçüldüğü gibi bir $T/2$ zaman aralığı sırasında z yönünde değişmez v hızı ile laboratuardan uzaklaştığını varsayıyoruz. Sonra bir başka ateşleme daha yapılır, ve hız tersine döner $(t_0 - v)$. Gemi Yeryüzüne geri dönünceye dek bir başka $T/2$ zaman aralığı boyunca yolunu sürdürür, ve bundan sonra birden Yeryüzünün hızına ininceye dek yavaşlatılır. (Bu kıpısal ivme patlamaları sayıltısı problemin herhangi bir özsel özelliğini değiştirmez.) Uzay gemisinin evren çizgisi Minkowski çizgesinde (Şekil 30–1) *OEA* olarak gösterilir. Devinen gözlemci tarafından verilen düzenli ışık sinyalleri $M_1M'_1$, $N_1N'_1$, vb. gibi çizgiler ile belirtilir.

İlkin *OA* gözlemcisi *relativistik* formül (17–12) gereği M'_1, M'_2, M'_3, vb. noktalarında frekansları Doppler kaymasının etkileri tarafından indirgenen sinyaller alacaktır.[10] Eğer τ_0 uzay gemisinde bu atışları belirleyen saatin dönemi ise, o zaman laboratuarda görüldüğü gibi atışlar arasındaki τ' zamanı ($\theta = 0$ olduğu için) şöyle olacaktır:

$$\frac{\tau_1}{\tau_0} = \frac{\nu_0}{\nu} = \left[1 + \frac{v}{c}\right] \frac{1}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}} \qquad (30\text{–}1)$$

[10]Almaşık olarak, Bölüm 26'da geliştirildiği gibi K kalkülüs kullanılabilir.

Şekil 30–1



Öte yandan, uzay gemisi E'de ivmelendikten sonra laboratuara yaklaşıyor olacak, öyle ki E'den sonra laboratuar gözlemcisi atışları küçülmüş bir dönem ile görecektir.

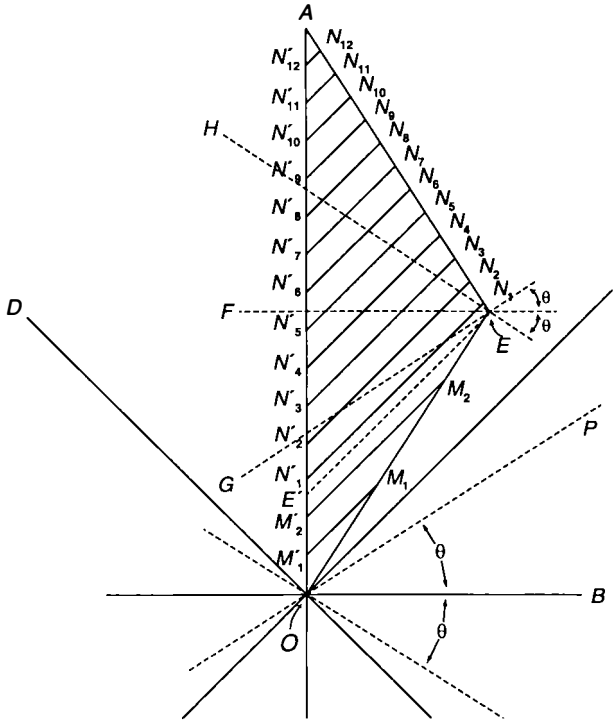
$$\frac{\tau_2}{\tau_0} = \frac{\nu_0}{\nu_2} = \left[1 - \frac{v}{c}\right] \frac{1}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \tag{30–2}$$

Geminin uzaklaşma hızının ve yaklaşma hızının eşitliği nedeniyle, açıktır ki gemi gidiş yolunda ve geliş yolunda aynı $N/2$ sayısında atış gönderecektir (N bütün yolculuk boyunca gönderilen atışların toplam sayısıdır). Bu atışların bir laboratuar gözlemcisi tarafından alınmasının bütünsel zamanı

$$\frac{N}{2} \frac{\tau_0}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \left(1 + \frac{v}{c} + 1 - \frac{v}{c}\right) = \frac{N\tau_0}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \tag{30–3}$$

olacaktır ki, bu formül hiç kuşkusuz bu atışların laboratuarda uzay gemisindeki bir gözlemci tarafından alınıyor olarak görünen $N\tau_0$'dan daha uzun bir zaman dönemi sırasında alınacağını gösterir

Şekil 30–2



Burada dikkat edilecek önemli nokta laboratuar gözlemcisinin gemi gözlemcisi için zamanın nasıl geçtiğini *doğrudan* bilemeyeceği olgusudur, çünkü ikisi arasındaki sinyaller Doppler kayması tarafından değiştirilir. Başka bir deyişle, laboratuar gönderme çatısında doğrudan gözlenebilir olan şey ilk olarak daha yavaş bir atışlar kümesi ve sonra daha hızlı bir başka atışlar kümesidir (örneğin, eğer devinen gözlemciyi gözleyecek olsaydı, ilkin onun yaşamının yavaşladığını ve sonra hızlandığını görürdü). Ancak bir *hesaplama* aracılığıyladır ki laboratuar gözlemcisi uzay gemisinin uzaklaşma ya da yaklaşmasının etkileri için "düzeltme" yapabilir. Bu hesaplamada ışık hızını c olarak alır. Ama gördüğümüz gibi, eğer tüm gözlemciler ışık hızını c olarak alırsa, o zaman ayrı hızlarda olanlar gerçekte ayrı bir düzeltme yapmış olurlar. Bir sonuç olarak, laboratuardaki ikiz OB çizgisine koşut çizgiler üzerindeki olaylara eşzamanlılık yüklerken, gemideki ikiz ise E ivmelenme noktasına ulaşıncaya dek OP çizgisine koşut çizgilerdeki olaylara eşzamanlılık yükler, ve ondan sonra OQ çizgisine koşut çizgilerdeki olaylara eşzamanlılık yükler. Böylece, gemideki ikiz söz gelimi M_3'ten M_4'e giderken, sürece laboratuardaki gözlemcinin yüklediği ile aynı zaman aralığını yükle-

mez, çünkü kendi zaman sıfırını yatay *OB* çizgisine değil ama eğik *OP* çizgisine karşılık düşecek bir yolda alır. *E*'deki ivmelenmeden sonra, *OQ* çizgisini kendi zaman sıfırına karşılık düşüyor olarak alır. Bu yolda görürüz ki ayrılan ve sonra yeniden buluşan gözlemcilerin saatleri tarafından edimsel olarak kaydedilen zaman söz konusu olduğunda bir ayrım için yer vardır.

Uzay gemisi gözlemcisinin laboratuar gözlemcisi tarafından biçimdeş olarak gönderilen bir küme ışık sinyaline bakarken ne bulacağını irdeleyerek, bu problem üzerine daha öte bilgiler edinebiliriz (bkz. Şekil 30–2). Doppler kaymasından ötürü, *O* ve *E´* arasında gönderilen atışlar *O* ve *E* arasında azalan bir frekans ile alınırken, *E´* ve *A* arasında gönderilenler ise artan bir frekans ile alınacaktır.

E deki ivmelenmeden hemen önce, uzay gemisindeki gözlemci *EG* (*OP* ye koşut) çizgisi üzerindeki olayları *E* ile eşzamanlı olarak görür, ama ivmelenmeden hemen sonra *EH* (*OQ* ya koşut) çizgisi üzerindeki olayları *E* ile eşzamanlı olarak alır. Böylece verili bir olaya yüklenen zaman koordinatında kıpısal bir sıçrama olduğunu, ve *E*'deki ivmelenmeden sonra N'_4 gibi bir olaya daha önce taşıdığından daha küçük bir zaman koordinatı yüklendiğini görürüz (ayrım *GH* çizgisine karşılık düşmek üzere). Zaman koordinatlarının yüklenmesindeki bu sıçramadır ki laboratuar gözlemcisinden devinen gözlemciye daha çok sinyal gelmesi olanağının olduğunu imler, bunun tersini değil, üstelik her ikisinin de benzer yapılı saatler kullanmasına karşın. Ve bu sıçrama laboratuar gönderme çatısında değil ama yalnızca gemi gönderme çatısında olduğu için, açıktır ki durum iki gözlemci arasında simetrik değildir.

Eğer uzay gözlemcisi durağan gözlemciyi gözlüyor olsaydı, o zaman bu ikincinin yaşamının ilkin yavaşladığını ve sonra hızlandığını görür, ama yolculuğun bütün sürecinde hızlanmanın etkisinin yavaşlamanın etkisini dengelemekten daha çoğunu yaptığını bulurdu. Buna göre ikizi ile buluşması üzerine onun kendisinden daha çok yaşamış olduğunu anlayınca şaşırmazdı.

O zaman görürüz ki ivmelenen bir saatin iki nokta arasındaki geçişte aynı noktalar arasından geçen ivmelenmeyen bir saatin kaydedeceğinden daha az zaman kaydedeceği biçimindeki relativistik vargıda gerçekte paradoksal hiçbirşey yoktur. Bu olanaklıdır çünkü görelilik kuramında zaman birarada varolan tüm gözlemciler için evrensel bir "şimdi" kıpısını temsil eden bir saltık değildir. Tersine, zaman çok daha ince bir tür kavramdır ki, ayrı gönderme çatıları ile ilişki içinde ayrı olabilir. Saatler tarafından ve değişik devim türlerine açık olan fiziksel süreçler tarafından kaydedildiği gibi, birçok ayrı zaman türü için yer vardır. Birçok yolda fiziksel zaman böylece zaman ile dolaysız algıdaki kendi deneyimimizin özelliklerinden bir bölümünü göstermeye başlar. Böylece, çok iyi biliriz ki, fiziksel olarak bir saat tarafından ölçüldüğü gibi verili bir aralık, o aralık sırasında ne kadar çok şeyin yer aldığına bağlı olarak, uzun ya da kısa olarak, bir sonsuzluk olarak ya da salt bir

kıpı olarak görünebilir. (Ek bölümünde Kesim A–3'te bu zaman algısı problemini daha ayrıntılı olarak ele alacağız.) Görelilik kuramının gelişimine dek, fiziksel ya da kronolojik zaman böyle bir göreliliği ve koşullar üzerine bağımlılığı paylaşmıyor görünüyordu. Ama şimdi görüyoruz ki bunun nedeni yalnızca zamanın düşük hızların sınırlı alanında incelenmiş olmasıdır. Alan c ile karşılaştırma içinde dikkate değer hızları kapsamak üzere genişletilince, kronolojik zamanda koşullar üzerine bir bağımlılık bulmaya başladık ki, dolaysız algıda yaşadığımız şeye bütünüyle benzemez değildir. Başka bir deyişle, kronolojik ve algısal zaman biçimlerini de kapsamak üzere tüm zaman biçimleri edimsel olayları düzenlemenin ve göreli sürelerini ölçmenin araçlarıdır. Zamanın benzersiz tek bir evrensel düzeni ve ölçüsü olduğu düşüncesi yalnızca Newton mekaniğinin sınırlı alanında oluşturulmuş bir düşünce alışkanlığıdır. O alanda geçerlidir, ama alan genişledikçe yetersiz olmaya başlar. Ve belki de alan daha da öte genişlerken pekala zaman (ve uzay) anlayışlarımızı daha da varsıllaştırmak için değiştirmemiz, ve belki de köktenci bir yolda değiştirmemiz gerekebilir, öyle bir yolda ki giderek yürürlükteki relativistik kavramlar bile yaklaşıklıklar ve özel sınırlayıcı durumlar olarak ele alınabilir.

XXXI

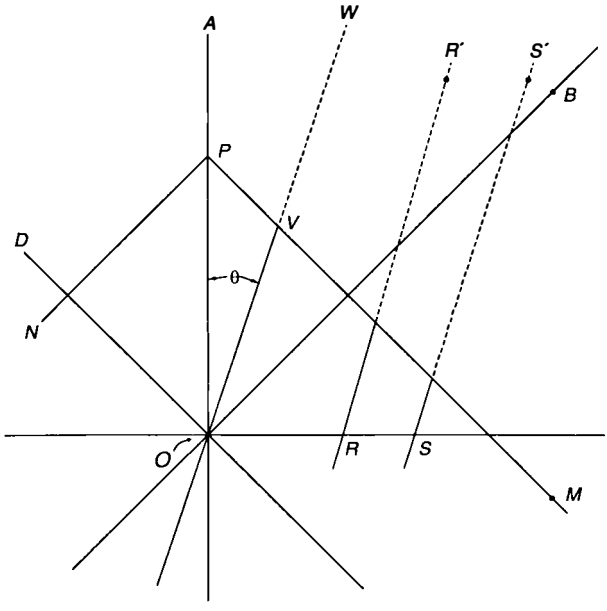
Minkowski Çizgesinin Geçmişin Bir Yeniden-Kurulumu Olarak İmlemi

Uzay ve zamanın tek bir dört-boyutlu uzay-zaman süreklisine relativistik birleştirilmesi nedeniyle, Minkowski çizgesini bir gözlemcinin verili herhangi bir kıpıda bütününü edimsel olarak görebileceği bir tür eylem arenasını ya da alanını temsil ediyor olarak yorumlama yönünde bir eğilim vardır. Başka bir deyişle, hemen hemen bilinçsizce, kişi bir bakıma uzay ve zamanın dışında duran, başından sonuna bütün kozmozu tıpkı uçaktaki bir insanın aşağıdaki görüntüyü incelemesi gibi inceleyen bir gözlemcinin bakış açısını kabul etmeye götürülür. O zaman başka gözlemcilerin evren çizgilerini bu gözlemcilerin geçtikleri yollar olarak düşünme eğilimi doğar ve bunlar aşağı yukarı uçaktan gözlemlenen bir demiryolu treninin kendi yolu boyunca ilerliyor olarak görülmesi gibi görülür.

Bununla birlikte, biraz üzerine düşünülürse, Minkowski çizgesine ilişkin bu görüş aslında gerçeklikten çok uzak olmalıdır. Örneğin laboratuarda dinginlikte olan ve evren çizgisi *OA* ile verili bir gözlemciyi irdeleyelim (Şekil 31–1). Her bir kıpıda böyle bir gözlemci çizgede *P* gibi bir nokta tarafından temsil edilecektir. Böyle bir gözlemci bütün Minkowski çizgesini gözlemleyemez. Tersine, ancak kendi geçmiş ışık konisinin, *PM*, ve *PN*, içinde olan olayları bilebilir. Öyleyse, hem saltık geleceğini hem de saltık 'başka bir yer'ini bilemez.

Belli bir *P* kıpısındaki bir gözlemci tarafından algılandığı gibi gerçek durum aslında Minkowski çizgesinde gösterilenden çarpıcı ölçüde ayrıdır. Yalnızca bir gözlemcinin bilgisi Minkowski çizgesinde onun saltık

Şekil 31–1



geçmişi olan parçaya sınırlı olmakla kalmaz, ama, daha da çoğu, gözlemci hiçbir zaman kendi geçmişini *bu çizgede temsil edildiği gibi* edimsel olarak yer alıyor olarak görmez. Çünkü verili herhangi bir kıpıda yalnızca o kıpıda edimsel olarak bulunanı yaşarız. Verili bir kıpıda geçmiş olarak gördüğümüz şey bundan böyle o kıpıda edimsel olarak varolmaz. Geçmişten kalan yalnızca şimdide bulunan bir izdir. Bu iz belleklerimizde ya da bir fotoğrafta olabilir, ya da şeylerin yapısında kalabilir (örneğin ağaçların halkaları, tarih-öncesi hayvanların iskeletleri, yerbilimde incelenen kaya ve toprak tabakaları vb.). Bu izlerden çıkarak düşüncelerimizde geçmişi *yeniden-kurarız,* ve bunu yaparken resimlerin ve modellerin yardımını da alırız. Böylece açıktır ki 'yeniden-kurulan' dinozor gerçek dinozor değildir, tıpkı geçmiş bir olayın fotoğrafının o olayın kendisi olmaması gibi. Anılar öylesine yaşam, devim, renk ve duygu dolu oldukları için, sık sık onları karıştırma eğilimine gireriz ve gerçekte onları sanki henüz varolduklarını anımsadığımız şeyler gibi ele alırız. Ama gerçekte bellekte görünen herşey o denli de salt geçmişin yitik bir izidir. Bu iz beyin hücrelerimizdedir ve bir bakıma şimdide "yeniden çalınır," tıpkı bir taş plağın yeniden çalınması ya da bir filmin yeniden gösterilmesi gibi.

Yalnızca geçmişin dolaysız olay ve olgularına ilişkin bilgimiz temelinde değil, ama ayrıca böyle hem bireysel hem de ortaklaşa deneyimden bilinçli ya da sezgisel olarak soyutlanmış genel kurallılıklara, eğilimlere ve

yasalara ilişkin bilgimizin temelinde de, olası bir geleceği tasarlama yeteneğimiz vardır. Ama onu tasarlarken, bu gelecek o denli de varolmayan birşeydir. Gerçekte bir imgeden, bir beklentiden, bir düşünceden daha öte birşey değildir. Eğer tasarlarımız iyi kurulmuş ise, o zaman edimsel gelecek, geldiği zaman, beklenmiş olana yakın olabilir. Ama, genel olarak konuşursak, tasarlarımız sık sık yanlış çıkar, ve bunun nedeni ya doğa yasalarına ve kurallılıklarına ilişkin bilgimizin yetersiz olması, ya da ilgili olgulara ilişkin bilgimizin yetersiz olmasıdır. Dahası, genel deneyimimizden açıktır ki tüm böyle tahmine dayalı tasarlar olumsallıklara, e.d. verili bir kıpıda araştırmalarımızın erişebileceği alanların dışında doğan etmenlere açıktır—etmenler ki, böylece bizim tarafımızdan bilinmezler ve gene de edimsel olarak olacak olanı belirlemede birincil rol oynayabilirler.

Olumsallıkların imlemi konusunda önemli bir örnek görelilik kuramı tarafından sağlanır. Böylece, gördüğümüz gibi, verili bir *P* kıpısında bir gözlemci ancak kendi saltık geçmişinde olana ilişkin bilgi edinebilir. Başka gözlemciler ile iletişimde olsa bile, ancak *onların* saltık geçmişlerinde *onun kendi* saltık geçmişinde de olan zamanlarda gördükleri şeyleri işitebilir. Böylece bilgi ister bireyin deneyiminde isterse bir küme insanın ya da bir toplumun ortaklaşa deneyiminde doğsun, irdeleme altında olduğu kıpıda her zaman geçmiş ve yitmiş olan üzerine dayanmalıdır. Bununla birlikte, doğanın çok büyük sayıda özelliği öylesine kurallı ve düzenlidir ki, bunlar zamanın geçişi ile önemli bir değişime uğramaz. Böyle özellikler için bu yolda geçmiş üzerine dayalı bilgi iyi bir yaklaşıklık sağlayacaktır. Gene de, daha önceki bölümlerde gördüğümüz gibi, geçmiş araştırmalarda geçerli olduğu bulunan yasaların asıl alanının ne olduğunu *a priori* bilemeyiz, öyle ki her zaman yeni alanlarda daha sonra yapılacak olan deneylerde geçmiş kurallılıkların geçerli olmaya son verecek olması olanağı için hazır olmalıyız.

Geçmiş deneyim, gözlem ve deneyden soyutlandığı gibi, genel doğa yasaları konusunda oldukça güvenilebilir bilgimiz olsa bile, öyle görünür ki olumsallıklardan kaçınamayacağımız açıktır, çünkü saltık 'başka bir yer'de neyin olduğunu tam olarak ve pekinlik ile bilemeyiz. Örneğin, eğer Şekil 26–4'te bir *P* gözlemcisi kendi saltık geçmişinde bir *OV* evren çizgisi üzerinde devinen bir parçacık görmüşse, usauygun bir biçimde parçacığın *OV*'nin *P*'nin ışık konisinin dışındaki bölgeye uzantısı olan *VW* çizgisi üzerinde varolmayı sürdürdüğünü varsayabilir. Eğer kendi ışık konisinin içinde olmuş olanlar konusunda çok şey biliyor olsaydı, o zaman kendi geçmiş ışık konisinin dışında olmakta olanlar konusunda yeterince kapsamlı bir düşünce tasarlayabilirdi. Ama bu tasarlanan tablo her zaman olumsallıklara açıktır, çünkü *P*'nin kendi saltık 'başka bir yer'inde her zaman bilmediği birşey yer alıyor olabilir (örneğin dış uzaydan bir göktaşı beklenmedik bir yolda laboratuara girebilir, böylece aletleri değiştirebilir ve parçacığı evren çizgisinin *VW* boyunca süreceği tasarlanan yolundan uzağa saptırabilir). Ve açıktır

ki *P*'nin saltık geleceğinde yer alan şey onun saltık 'başka bir yer'ine bağımlıdır, ve dolayısıyla onun geleceği de olumsallıklara açıktır.

İlk bakışta *P*'nin saltık geçmişinin *tam ve pekin* bir bilgisinin *P*'nin saltık 'başka bir yer'inde olmakta olanın karşılık düşen düzeyde tam ve pekin bir tasarını olanaklı kılıp kılmayacağı, ve böylece ilkede olumsallığın giderilmesine izin verip vermeyeceği sorusu doğabilir. Ama bu soru çok ilgili değildir, çünkü geçmişin böyle tam ve pekin bir bilgisi açıktır ki olanaksızdır. Gerçekten de, böyle bir bilgi sonsuza dek geriye gitmeyi, ve karşılık düşecek denli büyük bir duyarlık ve sağınlık düzeyinde gözlemler ve ölçümler yapmayı gerektirir, çünkü birçok durumda geleceğimizde yer alan şey kritik olarak çok uzun süre önce yer almış olan küçük şeyler üzerine bağımlı olabilir. Ama uzak geçmişin izleri genellikle silinme eğilimindedir ve gözlemlerimiz için kafa karıştırıcıdır. Kişi ne denli geriye giderse, ölçümler o denli duyarlı ve sağın olmalı ve doğa yasaları üzerine bilgimiz ve anlayışımız o denli daha iyi olmalıdır, öyle ki şimdide gözlediğimiz izleri geçmişi doğru olarak yeniden-kuracak bir yolda yorumlayabilelim. Açıktır ki, varoluşumuzun verili bir kıpısında bile kendi saltık geçmişimize ilişkin *tam ve pekin* bilgi elde etmek için gerekli olacak bir yolda aletlerin eksiksiz duyarlık ve sağınlığını ve doğa yasalarının bütünlüğünün eksiksiz bilgi ve anlayışını taşımak olanaksızdır. Bu demektir ki saltık geçmişimizden çıkarak saltık 'başka bir yer'imiz konusunda yapılan tasarlar zorunlu olarak eksik kalır. Öyleyse her zaman saltık 'başka bir yer'imizde bilinmeyen pekçok şey vardır; ve salt bu nedenle geleceği ilgilendiren tahminler tam olarak tahminin yapıldığı kıpıda bilinmeyenlerden doğan olumsallıklara açık olacaktır. Hiç kuşkusuz, daha sonra bunları bilmeyi başarabiliriz (saltık geçmişlerimizin bir parçası oldukları zaman), ama o zaman söz konusu kıpıda bilinmeyen yeni bir saltık 'başka yer' olacaktır. Böylece her zaman bilinmeyen birşey olacaktır.

Tüm bu irdelemelerin gözlemcinin *evrenin parçası olması* gibi önemli bir olguyu dikkate alma gereksiniminden doğduğu görülebilir. Gözlemci uzay ve zamanın, ve fizik yasalarının dışında durmaz, ama tersine her bir kıpıda evrenin bütünsel sürecinde belirli bir yeri vardır, ve incelemeye çalıştığı aynı yasalar yoluyla bu süreç ile ilişkili olmalıdır. Bir sonuç olarak, hiçbir fiziksel eylemin ışıktan daha hızlı iletilemeyeceğini imleyen bu fizik yasalarının biçiminin kendisinden ötürü, verili bir kıpıda böyle bir gözlemci tarafından bilinebilecek olan şeyler üzerinde belli sınırlamalar vardır.

Quantum kuramında gözlemcinin evrenin parçası olması olgusunun sonuçları giderek daha da çarpıcıdır. Çünkü gözlemciyi gözlediği şey ile ilişkilendiren bölünemez eylem niceleri dikkate alındığında, her gözlem ediminin gözlemcinin gözlemlediği şeye indirgenemez bir *katılmasını* ortaya çıkardığı, ve bu katılmanın gözlemlenen dizgenin bir *bozulmasına* yol açtığı görülür. Bir sonuç olarak, Heisenberg'in indeterminizm ilkesini tartışmasında gösterdiği gibi, her tür ölçümün sağınlığında bir

minimum belirsizlik vardır. Ama belki de görelilik kuramının kendi başına tahminlerimize özünlü belirsizlikten ayrı olan bir tür belirsizliğin zorunluğuna götürdüğü öyle genel bir yolda kabul edilmez—bir belirsizlik ki quantum kuramından doğandan ayrı olmasına karşın imlemlerinde bütünüyle eşitsiz değildir.

Şimdi Minkowski çizgesinde gösterildiği yolda P gibi verili bir kıpının geçmişinin edimsel olarak varolmadığı, ama gerçekte yalnızca bir *yeniden-kurulum* olduğu (ki bundan hiç kuşkusuz olası geleceği tasarlayabiliriz) olgusuna geri dönelim. Bunun laboratuardaki bir insanın uzay gemisindeki ikizini gözlemlemesini, ve evrik olarak ikizi tarafından kendisinin gözlemlenmesini konu alan bir örneğini önceki bölümde gördük. Bu insanlardan her birinin *edimsel olarak gözlemlediği* şey ilkin ötekinde yer alıyor olarak görülen süreçlerin bir yavaşlaması (çünkü uzay gemisi laboratuardan uzaklaşmaktadır), ve daha sonra bu süreçlerin bir hızlanmasıdır, (çünkü yaklaşmaktadır). Verili bir kıpıda bir gözlemci o kıpıya dek görülmüş olanın bir anısını ya da başka türden bir kaydını taşır. Bu anıyı ya da kaydı doğrudan doğruya edimsel olarak olmuş olanı temsil ediyor olarak almaz. Tersine, ışığın ona ulaşmak için gereksindiği zamanın etkileri karşısında onu yorumlamalı ya da "düzeltmelidir," ve bu düzeltme en azından ışığın ve başka tür sinyallerin yayılımı ile ilişkili oldukları ölçüde onun genel fizik yasalarına ilişkin *bilgisi* üzerine dayanır. Böyle bir işlem açıktır ki öteki gözlemcinin edimsel olarak yaşamış olduğu varsayılan şeyin bir *yeniden-kurulumuna* varır. Bu yeniden-kurulumun doğruluğu sinyallerin yayılımına ilişkin yasalar konusundaki bilgisinin doğruluğuna bağımlıdır. Böylece yalnızca relativistik-olmayan yasaları biliyor olabilir, ki bu durumda yeniden-kurulumu relativistik yasaların kullanımı yoluyla kaçınılabilecek belli yanılgı türlerini kapsayacaktır (bu yanılgılar yüksek hızlarda önemlidir).

Bir nesnenin uzunluğunu saptayabilmek için benzer bir yeniden-kurulum gereklidir. Böylece laboratuara göreli olarak v hızı ile devinen ve uç noktaları Şekil 31–1'de RR' ve SS' evren çizgileri ile belirtilen bir cetvel düşünelim. Cetvelin laboratuar gözlemcisinin evren çizgisindeki O kıpısına karşılık düşen zamandaki uzunluğu nedir? Açıktır ki bu gözlemci O olayına karşılık düşen zamanda R ve S olayları ile değme ilişkisi içinde olamaz. Tersine, bunları (örneğin ışık sinyalleri ile) *ancak daha sonra* öğrenebilir; ve bu bilgiden C'ye karşılık düşen zamanda olmuş olduğu gibi cetvelin bir tür anısal yeniden-kurulumunu oluşturabilir.

Tanım gereği, cetvelin söz konusu gözlemci tarafından hesaplanan uzunluğu hiç kuşkusuz onun *aynı zamanda alınan* uç noktaları arasındaki uzaklık olmalıdır, ve burada ışığın cetvelin çeşitli bölümlerinden ona ulaşması için gereken zaman dikkate alınır. Böyle bir hesaplama için zorunlu verilerin elde edilmesi amacıyla, gözlemci örneğin cetvelin bir dizi fotoğrafını alabilir, ve kameranın cetvelden uzaklığını ve kameranın baktığı yönü bilerek, cetvelin uzunluğunu ölçmek için iyi bilinen geometrik yöntemleri kullanabilir. Bunu nasıl yapması gerek-

tiğini incelerken, söz gelimi devinen nesnelerdeki Lorentz kasılması gibi belli relativistik özelliklerin nasıl söz konusu özelliklerin uylaşımsal tanımlarını ilgilendiren bir sorun olduğunu çok açıkça görebiliriz. Böylece, eğer cetvel uzunluğunun yönünde devinirken büyük bir uzaklıktan deviminin yönüne belli bir θ açısı ile fotoğrafı alınsaydı, o zaman bu fotoğraf kendi başına cetvelin aynı zamandaki uçları arasındaki uzaklığı *göstermezdi* (Şekil 31–2). Tersine, kamera yalnızca objektif kapayıcısının açık olduğu (gözardı edilebilecek denli) kısa aralık sırasında mercekten geçmekte olan ışık ışınlarının tümünü seçer. Cetvelin C kamerasında çok küçük bir $\Delta\theta$ açısının karşısına düştüğü sayıltısından doğan yaklaşıklıkları kullanarak, cetvelin B geri ucundan böyle seçilen tüm ışık ışınlarının A ucundakilerden bir $\Delta\tau = (l - v\Delta\tau/c)\cos\theta$ zaman aralığı kadar daha geç başlamış olduğunu kolayca hesaplayabiliriz (ki burada l cetvelin uzunluğudur). Böylece $\Delta\tau = (l/c)[\cos\theta/1 + (v/c)\cos\theta]$. Cetvelin deviminden ötürü fotoğraf üzerinde görünen uzunluk $l' = l/[1 + (v/c)\cos\theta]$ olacaktır. Öyleyse, kendi zaman koordinatının verili bir değerinde cetvelin "uzunluğunu" elde etmek isteyen gözlemcinin bu etki için "düzeltme" yapması gerekecektir. Bu düzeltmeyi yapmak için cetvelin hızını bilmelidir. Bunu örneğin eğer cetvelin konumundaki değişimleri gözlemlerse, saatleri tarafından ölçülen bir zamanlar dizisi boyunca ardarda çekilmiş bir dizi fotoğraftan bulabilir.

Yukarıdaki örneklerde uzunluk ve frekans gibi özelliklerin relativistik alanda nasıl soyut olduklarını açıkladık. Bunlar olsa olsa seyrek olarak doğrudan doğruya oldukları gibi algılanırlar. Gerçekte ise ancak hem genel hem de özel olmak üzere geçmişe ilişkin oldukça geniş bir bilgi üzerine dayalı uzun bir yeniden-kurulum sürecinden sonra ortaya çıkarlar.

Bununla birlikte, temel olarak tüm bilgimiz yukarıda betimlenen özelliği taşır. Böylece açıktır ki tarih-öncesi zamanlara ilişkin olarak bildiğimiz herşey bütünüyle bu zamanların henüz varolan izlerinden türetilen yeniden-kurulumlardan gelir. Ama tarihsel zamanlara ilişkin bilgimiz de yalnızca bir yeniden-kurulumdur ve ek olarak insanların

Şekil 31–2



söylemiş ve yapmış olduklarının kayıtları (sık sık yanlış, aldatıcı, eksik vb. olan kayıtlar) üzerine dayanır. Ve giderek kendi dolaysız geçmişimizin bilgisi bile yine ondan anımsayabildiklerimiz üzerine dayalı benzer bir yeniden-kurulumdur. Böylece bütün bir geçmiş bir tür yeniden-kurulumdur. Hiç kuşkusuz, bunun büyük bir bölümü belli türlerdeki kurallılıkların hemen hemen hiçbir bilinçli düşünce gerektirmeyen alışkısal beklentileri tarafından yerine getirilir. Gene de geçmişin gitmiş olduğu, ve ondan geriye kalan herşeyin yorumladığımız, örgütlediğimiz, ve edimsel olarak olmuş olanın yaklaşık ve genellikle tam olmayan bir bilgisine yapılandırdığımız izler olduğu yadsınamaz. Bu bilginin belli bir sınırlı ve bölümsel doğruluk derecesi vardır ki, onu gelecek eylemler için yararlı bir genel kılavuz yapar, yeter ki kişi onun yanılgılarını kendilerini gösterir göstermez tanımak için uyanık olsun.

Tüm bunları göz önünde tutarak, şimdi Minkowski çizgesinin edimsel olarak ne demek olabileceğine ilişkin soruya gelelim. Yanıt bu çizgenin evrendeki *olayların* bir tür haritası olduğudur ki, bize gerçek olayların düzen, kalıp ve yapılarını doğru olarak verebilir, ama kendinde edimsel olarak olduğu gibi dünya değildir. Böylece, herkes dünyanın bir haritasının kağıt, mürekkep vb. ile yapıldığı, ve *haritanın dünya olmadığı* olgusunu yakından bilir. Gene de, iyi bir haritanın belli yollarda dünyanın yapısına benzer olan bir *yapısı* vardır. Böylece, bu tür bir harita üzerinde, eğer belli bir C kentinin A ve B gibi iki başka kent arasında olduğu gösterilirse, A'dan B'ye giderken aralarında C ile karşılaşılacağını edimsel olarak buluruz. (Kötü bir harita hiç kuşkusuz yapısı haritası olması gerektiği şeyin yapısına benzer olmayan bir harita olacaktır.)

O zaman denebilir ki fizik evrende yer alan olayların bir tür haritasını geliştirmiştir, öyle bir yolda ki, örneğin eğer B olayı harita üzerinde A ve C olayları arasında yatıyor olarak görülürse, B'nin A'dan sonra ve C'den önce yer aldığının edimsel olarak gözlemlendiğini bulmamız gerekir. Newton mekaniğinde ilgili harita uzay ve zamanın tam bir ilişkisizliğini imliyordu, öyle ki eğer gözlemciler verili bir A olayının bir başka B olayından önce olduğunu bulmuşsa, tüm gözlemcilerin edimsel olarak olayların aynı düzeni ile karşılaşacağı imleniyordu. Bununla birlikte, Einstein'ın kuramı temelinde fizikçiler şimdi daha incelikli bir harita geliştirmişlerdir ki, bunda uzay ve zaman Minkowski çizgesinde belirlenen yolda özünlü olarak ilişkilidir. Bu harita üzerinde, eğer iki olay birbirinin saltık 'başka bir yer'inde ise, değişik hızlarda devinen gözlemcilerin olaylara değişik bir zaman sırası yükleyebileceği, kimilerinin A'nın B'den önce ve başkalarının ise B'nin A'dan önce olduğunu söyleyebileceği imlenir. Bununla birlikte, eğer olaylar birbirlerinin ışık konilerinin içinde ise, harita tüm gözlemcilerin hangisinin daha önce ve hangisinin daha sonra olduğu konusunda anlaşacaklarını imler (öyle ki nedensel olarak bağıntılı olaylar dizisinde hiçbir ikircim olamaz).

Açıktır ki giderek Yeryüzünün coğrafyası durumunda bile, bir harita geniş bir geçmiş deneyimler dizisinden soyutlanmış belli geometrik

ilkeler ile uyum içinde örgütlenmiş, düzenlenmiş ve yapılandırılmış çok büyük bir sayıda gözlem üzerine dayalı gelişmiş bir yeniden-kurulumun karakterini taşır. Çok sık olmak üzere, haritada daha öte gözlemler temelinde düzeltilen yanlışlıklar vardır; ve zaman zaman haritanın yapısında deneyimin daha büyük alanlara genişletilmesinden doğan temel değişimler olmuştur (örneğin yassı Yeryüzü tasarımı küresel bir Yeryüzü tasarımı ile değiştirildiğinde olduğu gibi). Dahası, hiç kimse haritanın *tam* olmasını beklemez. Tersine, harita ancak genel bir kılavuzdur, öyle ki verili bir ülkenin edimsel olarak nasıl olduğunu görmek için oraya gitmeniz gerekir.

Benzer bir yolda, fizikçinin uzay ve zaman kavramları geniş bir geçmiş deneyimler eriminden soyutlanmış uygun geometrik, dinamik ve yapısal ilkeler ile uyum içinde bir yeniden-kurma işlemi üzerine dayanır. Bu ilkeler de daha öte gözlemler temelinde düzeltilmesi gereken yanlışlıklar kapsar, ve deneyim yeni alanlara genişledikçe bunlar temel yapısal değişimlere uğrayabilir. Ve benzer olarak harita hiçbir zaman tam değildir. Aslında, yalnızca geçmiş ve gitmiş olan üzerine dayanır. Ama tüm bunlar iyi bir kavramsal haritanın yapısı içerisine yerleştirilince, gelecekte beklenecek olan şeyler konusunda genel bir kılavuz olarak hizmet edebilir. Bununla birlikte, geleceğin gerçekte neye benzeyeceğini görmek için hiç kuşkusuz geleceğin edimsel olarak yer aldığı zamana dek beklemek gerekir. Ve zaman zaman haritamız üzerinde olan şeylere hiçbir biçimde karşılık düşmeyen sürprizler olacaktır.

Bir harita ve haritası olduğu bölge arasındaki ayrım öylesine kendiliğinden-açıktır ki hemen hemen hiç kimse haritayı temsil etmesi gereken şey ile karıştırmaz (tıpkı hemen hemen hiç kimsenin bir yemek tablosunu onu besleyecek olan olgusal bir yemek ile karıştırmaması gibi). Ama uzay ve zaman düşüncelerimiz (ister sıradan deneyimde isterse fiziksel araştırmada kazanılmış olsunlar) edimsel olarak yer alan şeyler ile göreli olarak kolayca karıştırılıyor görünür. Böylece, Newton saltık uzay ve zaman düşüncesini önerdiği zaman, fizikçiler bunun yalnızca bir tür kavramsal harita olduğunu ve olgusal fiziksel süreçlerin yapısı açısından bölümsel olarak geçerli ve bölümsel olarak yanlış olan bir yapı taşıyabileceğini söylemediler. Tersine, *var olanın* saltık uzay ve zaman olduğunu duyumsadılar. Şimdi bu kavramın yalnızca sınırlı bir geçerlik derecesi olduğu görüldüğüne göre, eğilim büyük bir olasılıkla *var olanın* Minkowski çizgesinde gösterildiği gibi göreli uzay-zaman olduğunu duyumsamaktır.

Eğer hem Newton hem de Einstein uzay-zamanlarının kavramsal haritalar olduğunu ve her birinin kendi alanında edimsel olarak gözlenebilecek olgusal olay ve süreç kümelerinin yapısına benzer bir yapı taşıdığını söylersek, bu nokta üzerine doğan karışıklığın çok büyük bir bölümünden kaçınılabilir. O zaman fizik yeni alanlara girerken daha da başka kavramsal haritaların gerekli olabileceği düşüncesi için bilincimizde bir yer bırakılmış olur.

Bu türden herhangi bir harita evren *olmayan* şeydir. Eş deyişle, harita bir düşünce, bir tablo, bir betimleme ya da bir tasarım iken, evren bu şeylerden herhangi biri değildir. Ama tüm düşünce durumunda olduğu gibi, yeterli düşünceler var olanın yapısına benzer bir yapıyı imler. Ve bir düşüncenin yeterliği için sınama edimsel deneyimde ortaya serilen yapının düşüncelerimiz tarafından imlenen yapıya benzer olup olmadığını görmektir. Eğer benzer değilse, o zaman edimsel olarak gözlenen olgularda ortaya serilen yapıya benzer olan bir başka yapıyı imleyen yeni kavramlara gereksiniriz.

Tüm haritalarda (kavramsal ya da başka türlü), kullanıcı için harita üzerindeki hangi noktanın *onun* konumunu ve hangi çizginin *onun* baktığı yönü temsil ettiğini görerek yerini ve yönünü bulma gereksinimi doğar. Bunu yaparken, kişi gerçekte her gözlem noktasının ve yönünün evren üzerine benzersiz bir perspektif verdiğini anlar. Ama uygun bir yapı taşıyan iyi bir haritanın yardımıyla, kişi bir perspektiften görüleni bir başkasından görülen ile ilişkilendirebilir, bu yolda perspektif altında değişimsiz olanı soyutlayabilir ve araştırma altındaki bölgenin edimsel doğasının sürekli gelişen bir bilgi ve anlayışına ulaşabilir. Böylece, değişik bakış açılarında duran iki gözlemci gördüklerini iletirken, hangi görüşün "doğru" ve hangi görüşün "yanlış" olduğu konusunda birbirine sanılar sunarak tartışmaları gerekmez. Tersine, haritalarına danışırlar, ve niçin aynı bölgeye bakan herkesin ayrı bir perspektifinin olduğu ve dolayısıyla ötekinin görüşü ile belli bir yolda ilişkili olan kendi görüşünü elde ettiği konusunda ortak bir anlaşmaya ulaşmaya çalışırlar. (Hiç kuşkusuz, eğer usauygun çabalardan sonra bunu yapamazlarsa, değişik yapıları olan haritalara gereksinimleri olduğundan kuşkulanmaya başlarlar.)

Newton mekaniğinde gözlemcinin konum ve perspektifinin önemi yeterince vurgulanmadı. Hiç kuşkusuz, fizikçiler her bir gözlemcinin edimsel olarak bir perspektifi olduğunu büyük olasılıkla her zaman anlamışlardır. Bununla birlikte, böyle bir perspektifin temel fizik yasalarında hiçbir rol oynamaması gerektiğini duyumsamış olabilirler. Tersine, fiziksel sürecin "saltık" bir uzay ve zamanda yer aldığını ve bunun ise ölçülme ve gözlemlenme yolundan bağımsız olduğunu varsaymış olmalıdırlar, öyle ki gözlemcinin (ya da aletlerinin) perspektifi bu yasalarda hiçbir biçimde görünmez. Öte yandan, Einstein'ın bakış açısında, açıktır ki bir Minkowski çizgesinin herhangi bir tikel örneği belli bir yolda devinen ve belli bir yöne yönelen bir dizgede gözlenecek olana karşılık düşen bir haritadır. Öyleyse, bu harita daha şimdiden ona özünlü olarak bir gözlemcinin perspektifini taşır. Dahası, gördüğümüz gibi, verili bir hızı olan bir gözlemcinin bile her kıpıda evrende değişik bir perspektifi vardır, çünkü yalnızca kendi saltık geçmişine ilişkin bilgisi vardır ve bu geçmiş böyle bir gözlemcinin varoluşunun her bir kıpısında değişik bir uzay-zaman bölgesine karşılık düşer. Böylece, ister değişik gözlemciler tarafından görülen şeyi isterse aynı gözlemci tara-

fından değişik zamanlarda görülen şeyi irdeleyelim, sürekli olarak tüm bu gözlemlerin sonuçlarını onları doğru bir yapısı olan bir uzay-zaman haritası ile bağıntı içinde ilişkilendirmek ve bu yolda değişmez olana ve dolayısıyla her bir gözlemcinin özel perspektifi üzerine bağımlı olmayana ilişkin sürekli büyüyen bir bilgi ve anlayış geliştirmek zorunludur.

Her bir gözlemcinin özel rolünü daha önceki kuramlarda yapılandan ayrı olan bir yolda vurgulayan göreliliğin böylelikle fiziği yalnızca böyle bir gözlemcinin uygun bulduğu ya da düşünmeyi seçtiği şey ile ilişkili kılan bir tür "öznelciliğe" düşmediği görülür. Tersine, vurgusu şimdiye dek hemen hemen gözardı edilen bir *olgu* üzerine, her bir gözlemcinin kendi bakış açısını belli bir yolda benzersiz kılan özünlü bir perspektifi olduğu *olgusu* üzerinedir. Ama bu benzersiz perspektifin kabul edilmesi, bir bakıma, edimsel olarak değişimsiz olanı ve gözlemcinin perspektifine bağımlı olmayanı bulup çıkarma konusunda daha gerçekçi bir yaklaşım için zemini temizlemeye hizmet eder.*

EK

Fizik ve Algı

A—1. GİRİŞ

Bu kitap boyunca Einstein'ın görelilik kuramında uzay, zaman, kütle vb. kavramlarının bundan böyle kendilerinde sürekli tözler ya da kendilikler olarak varolan saltıkları temsil ediyor olarak alınmadığını gördük. Tersine, fiziğin bütünü evrende gözlemlenecek olan sürekli değişken devimlerde olduğu gibi, böyle gözlemlerde kabul edilebilen bakış açılarının, gönderme çatılarının, ayrı perspektiflerin vb. değişimlerinde de *göreli olarak değişimsiz* olanın keşfi ile ilgileniyor olarak anlaşılır. Hiç kuşkusuz, Newton ve Galileo'nun yasaları daha önce bu tür relativistik kavramlardan bir bölümünü kendi içlerine almışlardı (örneğin gönderme çatısının koordinatlar özeğinin, yöneliminin ve hızının göreliliği gibi). Ama o yasalarda temel uzay, zaman, kütle vb. kavramları henüz saltıklar olarak ele alınıyordu. Einstein'ın katkısı bu relativistik kavramları özel kuramda yalnızca mekaniğin değil ama ayrıca elektrodinamiğin ve optiğin yasalarını ve genel kuramda yerçekiminin yasalarını da kapsamak üzere genişletmek idi. Bunu yapmakla sözünü ettiğimiz devrimci adımı, e.d. uzay, zaman, kütle vb. özelliklerini saltıklar olarak görmeye son verme ve bunun yerine onları gözlemlenen nesne ve olay kümelerinin gönderme çatıları ile ilişkilerinin değişimsiz özellikleri olarak ele alma adımını atmaya götürüldü. Ayrı gönderme çatılarında belirli nesne ve olaylar ile ilişkilendirilecek uzay koordinatları, zaman, kütle, enerji, vb. ayrı olacaktır. Gene de evrenin herhangi bir gönderme çatısında gözlemlenen birçok yanını bir başka gönderme çatısında gözlemlenenler ile ilişkilendiren çeşitli dönüşüm kümeleri vardır (örneğin çevrimler, uzaysal yerdeğişimleri, Lorentz dönüşümleri). Ve bu dönüşümlerde,

belli fonksiyonlar (örneğin zaman aralığı ve dinginlik kütlesi gibi) söz konusu kümenin içerisinde tüm gönderme çatıları için aynı olan değişimsiz özellikleri temsil eder. Hiç kuşkusuz böyle değişimsizlik genel olarak ancak belli bir alanda geçerli olacaktır, öyle ki araştırma altındaki alan genişletilirse, eski ilişkileri yaklaşıklıklar ve sınırlayıcı durumlar olarak kapsayan yeni değişimsiz ilişkilere ulaşmayı bekleyebiliriz. Doğanın yasallığı böylece tam olarak değişimsiz olanı bulma olanağına karşılık düşüyor olarak görünür. Ama her bir değişimsizlik türü yalnızca uygun bir alan ile göreli olduğu için, bilimin her zaman her biri yeni bir fenomenler alanının anlaşılmasına katkıda bulunan yeni değişimsiz ilişki türlerinin keşfine yöneleceği beklenebilir.

İlk bakışta yukarıda betimlenen bakış açısı "sağ-duyu"nun bakış açısına (ve ayrıca eski Newton fiziğinin bakış açısına) çok ayrı görünebilir. Çünkü evreni belli kalıcı yasalara doyum veren az çok kalıcı nesnelerden oluşuyor olarak görme alışkanlığında değil miyizdir? Başka bir deyişle, gündelik yaşamda hiçbir zaman "değişimsiz ilişkiler"den söz etmeyiz, ama dahaçok masalara, iskemlelere, ağaçlara, yapılara, insanlara vb. göndermede bulunuruz ki, bunlardan her biri az çok bilinçsiz olarak başkalarına eklendiğinde bildiğimiz biçimiyle evreni oluşturan belli bir tür nesne ya da kendilik olarak tasarımlanır. Bu nesneleri ya da kendilikleri *göreli değişimsizler* olarak görmeyiz, ki bu sonuncular özellikleri ve altında durdukları yasalar ile birlikte bütünsel değişim ve devim akışından soyutlanmıştır. O zaman dolaysız deneyimde (ve ayrıca klasik relativistik-olmayan fiziğin alanında) gözlemlendiği gibi evreni kavrama yolumuz ve onun görelilik kuramında kavranma yolu arasında çarpıcı bir ayrım var görünür.

Bu Ek bölümünde sıradan deneyimin kavramları ve görelilik kuramının kavramları arasındaki ayrımın başlıca bu deneyimi ilgilendiren belli alışkısal *düşünceler* nedeniyle doğduğunu, ve şimdi dünyayı edimsel algılayış kipimizin (onu görme, onu işitme, ona dokunma vb. kipimizin) karakterde ve genel yapıda relativistik fizik tarafından önerilen kipe önrelativistik fizik tarafından önerilen kipe olduğundan çok daha yakın olduğunu düşündüren yeni ama oldukça iyi doğrulanmış çok sayıda bilimsel kanıtın bulunduğunu göstereceğiz. Bu kanıtın ışığında öyle görünür ki bize relativistik-olmayan kavramların relativistik kavramlardan daha doğal görünmelerinin başlıca nedeni *sıradan deneyim alanını* anlayışımızın sınırlı ve yetersiz olmasıdır, bu alanı alışkısal ayrımsama kipimizin herhangi bir özünlü kaçınılmazlığı değil.

A—2. BEBEKLERDE VE KÜÇÜK ÇOCUKLARDA ORTAK KAVRAMLARIMIZIN GELİŞİMİ

Bölüm 1'in sonundaki öneriyi destekleyen kanıt birçok değişik alandan gelir. Bebeklerde ve küçük çocuklarda anlağın gelişimi üzerine Piaget

tarafından yapılan hayranlık verici incelemeler ile başlayacağız.[11] Yeni doğan bebekten 10 yaş ya da daha büyük olanlara dek tüm yaşlardaki çocuklar üzerine uzun ve dikkatli gözlemler temelinde, Piaget uzay ve zamana, kalıcı nesnelere, sakınılan bütünsel nicelik ile kalıcı töze vb. ilişkin alışıldık düşüncelerimizin gelişimini edimsel olarak görmeyi, ve bu yolla böyle kavramların doğal ve kaçınılmaz görünme noktasına dek büyüme süreçlerini izlemeyi başardı.

Çok küçük bebek sanki yetişkinin bir evrene ilişkin kavramını, az çok kalıcı nesneler kapsayan ve kendisinden ayrı olan bir evrenin kavramını taşıyormuş gibi davranmaz. Tersine, Piaget bebeğin hemen hemen ayrımlaşmamış bir bütünlüğü deneyimleyerek başladığını düşündüren iyi kanıtlar sunar. Başka bir deyişle, bebek henüz kendi içinde doğanı ve kendi dışında doğanı ayırdetmeyi öğrenmemiştir, ne de "dış" ya da "iç" dünyaların çeşitli yanları arasında ayrım yapmayı bilir. Bunun yerine, deneyimlenen yalnızca bir dünyadır ki duyumların, algıların, duyguların vb. sürekli bir akış durumu içindedir ve içinde kalıcı olarak tanınabilecek hiçbirşey yoktur. Bununla birlikte, bebek besin, devimler vb. ile bağıntılı belli doğuştan tepkeler ile donatılıdır. Bu tepkeler çevrenin değişik yanlarını seçici olarak uyumlu kılmak üzere gelişebilir; ve bu yolda çevre belli "tanınabilir" özellikleri üstlenme düzeyine dek etkili olarak ayrımlaşmaya başlar. Ama bu evrede tanıma büyük ölçüde işlevseldir (örneğin kimi nesneler "yemek için," kimileri "içmek için," kimileri "çekmek için"dir, vb.), ve yetişkinin herhangi bir nesneyi şekil, biçim, yapı ya da algılanan başka nitelikler yoluyla tanıma yeteneğinin ya hiçbir gelişimi yoktur ya da bu çok azdır.

İlkin bu tepkeler ve işlevler büyük ölçüde açlık vb. gibi duyumlar tarafından belirtilen birincil gereksinimlerin doyumunda yerine getirilir. Bununla birlikte, sonraki evrede "döngüsel tepke/*circular reflex*" denilen şey gelişir ki, anlağın gelişiminde belirleyici öneimdedir. Böyle bir tepkede dışarı giden (örneğin elin devimine götüren) bir dürtü vardır ve bunu başlıca gereksinimin doyumu değil ama dahaçok içeri giren belli bir duyusal dürtü (örneğin gözde, kulakta vb.) izler. Bunun gerçek algının bir başlangıcı olduğu söylenebilir. Çünkü yalnızca bedensel bir gereksinimin dolaysız doyumu olmayan birşey ile ilişkiye girmenin en temel yolu onu öyle bir sürece katmaktır ki, bunda eyleme doğru belli bir dürtüye belli bir duyum eşlik eder.

Döngüsel tepke ilkesi tüm daha ileri gelişimlerde etkinliğini sürdürür. Böylece, belli bir evrede, bebek Piaget'nin anlatımıyla "ilginç görüntüler üretebilmek için" böyle tepkeleri etkinleştirmekten haz duymaya başlar. Örneğin belli bir ipi çekmenin önünde ilginç bir devim duyumunu üreteceğini bulur (örneğin, eğer ip renkli bir nesneye bağlı ise). İp ve devim arasındaki nedensel bağıntıyı anladığı, ya da giderek

[11] J. Piaget, *The Origin of Intelligence in the Child.* Routledge and Kegan Paul, Londra, (1953). J. Piaget ve B. Inhelder, *The Child's Conception of Space*, Routledge and Kegan Paul, Londra, (1956).

imgeleminde devimin duyumunu önceden gördüğü ve sonra belli bir işlem yoluyla onu gerçekleştirmeye çalıştığı sanılmamalıdır. Tersine, böyle bir işlemi yerine getirerek *tanınabilir* olan hoş bir duyumu elde ettiğini *keşfeder*. Başka bir deyişle, geçmiş bir olayın yinelemiş olduğunun anlaşılması önce gelir; bu olayı bellekte anımsama yeteneği ancak çok sonra görülür. Böylece, bu evrede, yalnızca belli bir işlemin haz verici belli bir tanınabilir deneyime götüreceğini bilir.

Birşeyi daha önce deneyimlenen başka birşeye benzer olarak tanıma yeteneği hiç kuşkusuz bebeğin erken deneyimlerinde akışkan süreçte göreli olarak sürekli birşey görmeye başlamak için zorunlu bir ön-gerektir. Bu algı bebeğin gelişiminde çok büyük olasılıkla birincil öğelerden biridir. Bu yetenek için bir başka önemli ön-gerek verili bir nesne ile ilişkilendirilen birçok değişik tepke türünün eşgüdümüdür. Böylece, başlangıçta bebek gördüğü nesnenin işittiği nesne ile aynı nesne olduğunu ya çok az anlıyor ya da hiç anlamıyor görünür. Tersine, dinleme, gözler ile bakma vb. gibi oldukça ayrı tepkeler bulunuyor görünür. Bununla birlikte, daha sonra bu tepkeler eşgüdümlü kılınmaya başlar, öyle ki sonunda işittiği şeyi gördüğünü, gördüğü şeyi yakaladığını vb. anlamayı başarabilir. Bu anlağın büyümesinde önemli bir adımdır, çünkü en sonunda gelişecek olan kavram, tekil bir nesne kavramı onda daha şimdiden örtük olarak bulunur—bir kavram ki, nesne ile tüm değişik türlerdeki deneyimimizden sorumlu olan odur.

Bununla birlikte, bebek henüz kalıcı bir nesne kavramından ya da böyle nesneler arasındaki kalıcı nedensel ilişkiler kavramından uzaktır. Tersine, bu evredeki davranışı kendisine tanıdık birşey sunulduğu zaman şimdi el, göz, kulak vb. eşgüdümünü içeren bulanık olarak tanınabilir duyum ve karşılıkları soyutladığını düşündürür. Böylece burada değişimsizin kavramının bir tür tohumu vardır; çünkü deneyimin bütünsel akışında şimdi şeklin özelliklerinin belli değişimsiz bileşimlerini tanıyabilir. *Bu bileşimlerin kendileri bütünlükler olarak deneyimlenir,* öyle ki nesne alışıldık bağlamının dışında tanınmaz.

Daha sonra, bebek devinen bir nesneyi gözleri ile izlemeye başlar, çünkü devinmesine karşın biçiminin vb. değişimsizliğini tanıyabilir. Böylece, belli nesnelerin alışıldık bağlamlarından ayrı olarak, onların varoluşunun sürekliliğini algılamak için gerekli tepkeleri oluşturmaya başlar. Bununla birlikte, henüz herhangi sürekli birşey için kavramı yoktur. Dahaçok, sanki bir nesnenin onu ilk gördüğü yerde varoluşa geldiğine ve onu son gördüğü yerde varoluştan yittiğine inanıyormuş gibi davranır. Böylece, eğer bir nesne onun önünden geçer ve daha sonra görüş alanından yiterse, onu aradığı yön onu *son* gördüğü yön değil ama tersine onu *ilk* gördüğü yöndür. Sanki bu yön böyle nesnelerin doğal kaynağı olarak görülüyormuş gibidir. Böylece, eğer bir nesne bir engelin arkasına giderse, onu orada aramayı düşünüyor görünmez. Bunun yapılabileceğinin anlaşılması ancak daha sonra, ancak çocuk Piaget'nin "işlem kümeleri" dediği şey ile uğraşmaya başladıktan sonra gelir. Bun-

ların en temel olanları "ikili küme"dir. Daha açık olarak, birşeyi evirip çevirme, onu bir engelin arkasına saklama ve yeniden ortaya çıkarma, birşeyi ileri-geri sallama gibi işlemler vardır ki, bunlar ortak olarak bir işlemin olduğu ve bunun sonucunun bir ikinci işlem tarafından "geri alınabileceği," öyle ki birbirini izleyen iki işlemin işlerin başlangıçtaki durumuna götürdüğü olgusunu taşırlar. Ancak bu olanağı anladıktan sonradır ki bebek bir nesneyi gözden yittiği engelin arkasında aramaya başlar. Ama bu davranış onu görmediği zaman bile varolan kalıcı bir nesnenin düşüncesini henüz taşımadığını imler. Tersine, büyük olasılıkla elini engelin arkasına koyma ve nesneyi ortaya çıkarma "işlemi" yoluyla nesnenin yitişini "geri alabileceğini" duyumsar.

Bu bağıntıda anımsamalıyız ki bebek henüz kendisi ve dünya arasında, ya da ondaki çeşitli nesneler arasında hiçbir açık ve kalıcı sınır görmez. Bununla birlikte, daha sonra bu sınırı kavramak için gerekli tepke ve işlemleri oluşturur. Böylece nedensellik kavramını ve neden ve etki ayrımını geliştirmeye başlar. İlkin nedenselliği sanki bir tür büyü olarak görüyormuş izlenimini verir. Bir ipe ya da yakınındaki başka nesnelere uygulanan devimin başka bir yerde karşılık düşen devimler üreteceğini keşfedebilir. Bir bağıntı için gereksinimi hemen anlamaz, ama sık sık sanki sonuçların onun kendisinin devimlerini bir tür büyülü karşılık gibi doğrudan doğruya izlemeleri gerektiğini bekliyormuş gibi davranır. Bu eğer çocuğun henüz içeride olanı dışarıda olandan açıkça ayırdedemediği göz önüne alınırsa hiç kuşkusuz gerçekten de beklenmedik birşey değildir. Böylece, birçok durumda devimler gerçekte görülür bir ara bağıntı olmaksızın algılanabilen içsel etkiler üretecektir. Bu nedenle, çocuk deneyiminin tüm yanlarını "içerisi" ve "dışarısı" arasında hiçbir açık ayrımı olmaksızın tek bir bütünlük olarak gördüğü sürece, deneyiminde böyle 'büyüsel' nedensellik beklentisini yadsıyacak hiçbirşey yoktur. Ama daha sonra nedensel ilişkilerde iç bağıntılar için gereksinimi görmeye başlar, ve daha da sonra başka insanları, hayvanları, ve giderek nesneleri deneyiminin alanında yer almakta olan şeylerin nedenleri olarak tanıyabilir.

Bu arada, uzay ve zaman kavramları oluşmaktadır. Böylece çocuk nesneleri ele alırken ve bedenini devindirirken, değişen görsel deneyimlerini dokunma algıları ve bedensel devimler ile eşgüdümlü kılmayı öğrenir. Bu evrede, devim kümeleri için kavramı "ikili küme"den daha genel kümelere genişler. Böylece, bir A yerinden bir başka B yerine birçok değişik yol içerisinden gidebileceğini, ve tüm bu yolların onu aynı yere götürdüğünü öğrenir (ya da almaşık olarak eğer A'dan B'ye tek bir yoldan gidiyorsa, bunu "geri alabileceğini" ve büyük bir sayıda almaşık yoldan A'ya geri dönebileceğini). Bu bize kendiliğinden-açık görünebilir, ama bir süreçler akışı içerisinde yaşayan bir bebek için büyük olasılıkla bu devimlerin tümünde de geniş bir yollar türlülüğü içinden her zaman kendilerine *geri dönebileceği* belli şeylerin olduğunu bulmak dev bir *keşiftir. Tersinir* devimler ya da işlemler kümesi kavramı

böylece ona bir temel sağlar ki daha sonra bunun üzerine uygun işlemler (örneğin çevrimler, yerdeğişimleri vb.) aracılığıyla kendilerine geri dönülebilecek *sürekli yerleri* kavramını ve her zaman tanıdık ve anlaşılabilir birşeye geri getirilebilecek *sürekli nesneler* kavramını kurabilir.

Bu arada çocuk yalnızca birşeyi ancak onu gördükten sonra tanıdık olarak *kabul etmeyi* değil, ama aşamalı olarak geçmişin imgelerini anımsamayı ve bunu olayların geçmişteki sırasına belli bir yaklaşıklık içinde yapmayı öğrenmektedir. Böylece gerçek *bellek* başlar, ve onunla birlikte geçmiş zamanın ve şimdiki zamanın (ve sonra çocuk beklediği şeylerin ansal imgelerini oluşturmaya başladığında gelecek zamanın) ayrımının kavramı için temel doğar.

Çocuk bulunmayan bir nesnenin bir imgesini giderek onu edimsel olarak algılamadığı zaman bile var olarak oluşturabildiğinde gerçekten de belirleyici bir adım atılmış olur. Bunu yapamadan hemen önce, bu sorunu sanki bulunmayan nesneyi kendisinin (ya da başkalarının) belli işlemlerin yardımıyla *üretebileceği* ya da *yaratabileceği* birşey olarak görüyormuş gibi ele alıyor görünür. Ama şimdi evrenin her biri kendi yerinde olmak üzere hem algılanan hem de algılanmayan şeyleri kapsıyor olarak ansal bir imgesini oluşturmaya başlar. Bu nesneler, yerleri ile birlikte, şimdi kalıcı birer varlık olarak ve onun daha şimdiden bildiği devim ve işlem kümelerine tam olarak karşılık düşen bir ilişkiler kümesi içinde düşünülür (örneğin içinde her noktanın başka her nokta ile birçok yoldan bağıntılı olduğu bir uzay tablosu onun bir noktadan bir başkasına birçok yoldan gidebilmesine izin veren işlemler kümesi ile deneyiminin değişimsiz özelliğini aslına uygun olarak temsil eder).

Bu evrede öyle görünür ki çocuk kendisi ve evrenin geri kalanı arasındaki ayrımı açıkça görmeye başlar. Şimdiye dek böyle bir ayrımı yapamıyordu, çünkü yalnızca bütünsel algılarının önünde edimsel olarak bulunan alanı deneyimlemeyi başarabiliyordu. Bununla birlikte, evrenin ansal bir imgesini yaratma, e.d. onu *imgeleme* yeteneği ile birlikte, şimdi sürekli olan bir yerler kümesini tasarlar, ve bu yerler çeşitli sürekli nesneler tarafından doldurulmuştur. Ama bu nesnelerden biri *kendisidir*. Evren üzerine yeni ansal "haritasında" kendisi ve başka nesneler arasında kalıcı bir ayrımı sürdürebilir. Bu harita üzerindeki herşey iki kategoriye ayrılır—"derisinin içinde" olanlar, ve olmayanlar. Çeşitli duyguları, hazları, acıları, istekleri vb. "derisinin içinde" olan ile birleştirmeyi öğrenir ve böylece evrenin geri kalanından ayrı olan ve gene de yerini bu evrende bulan bir "kendi" kavramını oluşturur. Benzer olarak, başka insanların derilerinin içlerine olduğu gibi hayvanlara da "kendiler" yükler. Her bir "kendi" hem evrende nedensel eylemleri başlatıyor olarak hem de onun dışında doğan nedensel eylemlerin etkileri altına düşüyor olarak düşünülür. Sonunda dirimsiz nesnelere daha düşük ve daha mekanik bir "kendi-lik" türü yüklemeyi öğrenir ki, duygular, amaçlar ve istekler taşımasa da nedensel eylemleri başlatmak için ve onun dışında doğan nedenlerin etkileri altına düşmek için belli

bir yetenek ile donatılıdır. Bu yolda uzayda (ve zamanda) birbirleri üzerinde nedensel olarak etkide bulunabilen ayrı ve sürekli kendiliklerden oluşan evrenin genel bir tablosu biçimlenir.

Nesnel bir dünya kavramı ve evrendeki nesnelerden birine karşılık düşen bir özne kavramı, gördüğümüz gibi, böylece aynı adımda birlikte oluşur. Ve bu açıktır ki zorunludur, çünkü evrenin bir tür kavramsal "harita" olarak hizmet eden ansal imgesi bu "harita" üzerindeki nesnelerden birinin gözlemcinin yerini temsil etmek üzere seçilmesini gerektirir, öyle ki her bir kıpıda onun evrendeki özel perspektifi dikkate alınabilsin. Başka bir deyişle, tıpkı Minkowski çizgesinin biçimindeki relativistik "harita"nın (Bölüm 29'un sonunda tartışıldığı gibi) onda gözlemcinin yer, zaman, yönelim ve hız gibi etmenleri temsil edecek birşey kapsamasının gerekmesi gibi, her bir kişi tarafından yaratılan ansal haritada da o kişinin çevre ile ilişkisinin karşılık düşen bir tasarımı kapsanmalıdır.

Hiç kuşkusuz çocuğun evrenin ansal bir imgesini ya da haritasını yaptığını bilmesi gerekli değildir. Tersine, Piaget'nin çok iyi ortaya koyduğu gibi, küçük çocuklar sık sık düşüncede imgelenen ya da anımsanan ile duyuları yoluyla edimsel olarak algılanan arasında ayrım yapmayı güç bulurlar (örneğin başka insanların üzerine düşünmekte oldukları nesneleri görebildiğini sanabilirler). Böylece çocuk bu ansal haritayı olgusallığa eşdeğer alacaktır. Ve bu alışkanlık her yeni deneyim tarafından yeğinleştirilir, çünkü bir kez harita oluşturulur oluşturmaz *tüm dolaysız algılara girerek onları şekillendirir* ve böylece deneyimin bütününün içine işleyip ondan ayrılamaz olur. Gerçekten de, iyi bilindiği gibi, birşeyi nasıl gördüğümüz ona ilişkin olarak bildiklerimiz üzerine dayanır. (Örneğin, aşırı bir durum biri açık ve ötekı daha az açık iki yoruma konu olan ikircimli bir tablonun durumudur. Kişi ona bir kez ikinci yorum söylenir söylenmez, birçok durumda bundan böyle tabloyu başlangıçtaki yolda göremez.) Böylece, yılların geçişi ile dünyayı belli bir düşünceler yapısı yoluyla görmeyi öğreniriz, öyle ki daha düşünmek için zamanımız bile olmadan her yeni deneyime dolaysızca o yapıya göre tepki gösteririz. Bu yolda evreni tasarlama ve algılamanın belli yollarının başka türlü olamayacağına inanmaya başlarız, gerçi gerçekte bunlar bizim tarafımızdan çocukluğumuzda keşfedilmiş ve kurulmuş ve o günden bu yana ancak belli deneyim alanlarında uygun olacak alışkanlıklara dönmüş olsa da.

Piaget'nin çalışmasına bu tür bir özette tam hakkını vermek çok güçtür. Bebeklik dönemini ilgilendiren ama burada değinilmeyen pek çok noktayı ele almasının yanısıra, Piaget çocuk konuşmayı öğrendikten ve az çok yetişkinler tarafından bilindiği biçimiyle düşünmeye başladıktan sonra yer alan anlak gelişmesini tartışmaya geçer. Burada, çocuğun yeni bir problemler kümesini çözmesi gerekir. Çünkü evrenin sözünü ettiğimiz ansal "harita" üzerinde temsil edilen dolaysız algısal yapısını düşünce ve dilin yapısına çevirmesi gerekmektedir. Bu sürece kaçınılmaz olarak büyük bir karışıklık düzeyi eşlik eder ve çocuğun düşünceleri

ve sözcükleri sık sık algılaması gereken ile çelişir. Gene de, adım adım, çocuk hangi şekillerin kapalı olduğunu, hangi eğrilerin düz olduğunu, hangi şeylerin başkalarının içinde ya da dışında olduğunu vb. bilmeyi öğrenir. Bunlar "yersel ya da topolojik" denilen ilişkilerdir. Sonra perspektif olgularını keşfeder (ki izdüşüm geometrisinin arkasında yatarlar) ve nesnelerin büyüklük ve şekillerini nasıl tanıyacağını öğrenir, böylece özü Euklides geometrisinde toparlanan ilişkiler kümesi ile tanışır. Bu süreçte ayrıca evrenin yapısı üzerine düşünmeyi ve başka insanlar ile iletişim kurmayı istediği zaman, ve benzer olarak düşüncelerini kılgısal bir soruna uygulamayı istediği zaman, mantıksal düşünce için gereksinimi de öğrenir. (Piaget mantığın başlangıçta çocukların düşünmesinde yalnızca çok küçük bir rol oynadığını açıkça gösterir.) Böylece sürekli bir gelişim sürecinde çocuk evren üzerine bilgisini ve anlayışını oluşturur, ve bunu dolaysızca algıladığı biçimiyle evrenin çeşitli yanlarının yapısına benzer bir yapıyı imleyen ilişkili ansal imge, düşünce, sözel betimleme vb. kümelerinin yardımı ile yapar.

Burada kısaca çocuğun nesnelerin sayısının ve onlardaki toplam özdek niceliğinin değişmezliği kavramının gelişimini tartışmak amaçlarımız açısından uygun olacaktır, çünkü bu kavramlar açıktır ki fizikte temel bir rol oynamıştır. Piaget'nin tanıtladığı gibi, konuşmaya yakınlarda başlamış bir çocuk ilkin bir nesneler kümesindeki nesnelerin devinme ve yeniden-düzenlenme yollarından bağımsız olarak değişmez bir sayılarının olduğu kavramını taşımaz. Tersine, her bir kıpıda verili bir toplamın bir başkasından daha çok mu, daha az mı, yoksa onunla eşit mi göründüğü konusunda genel bir algısal hesaplama yapar, ve başlangıçta eşit olan iki toplamın uzayda belli bir yeniden-düzenlemeden geçtikten sonra eşitsiz olduklarını söylemede duraksama göstermez (üstelik nesnelerin sayısının edimsel olarak değişmez kalmış olmasına karşın).

Eğer çocuğun henüz nesneler devinirken ve birbirleri ile ve gözlemci ile ilişkilerini değiştirirken sayılarının değişmeden saklandığı düşüncesini taşımadığı olgusu göz önünde tutulursa, yukarıda betimlenen sonuçların şaşırtıcı olmadığı görülecektir. Gerçekten de, bu kavram ancak bir dizi evrede gelişir. İlk olarak, çocuk koşut sıralarda olduğu gibi yalın ilişki içinde duran nesneler arasında bir bire-bir *karşılık düşme* ilişkisini kurmayı öğrenir. Bu karşılık düşme ilişkisi gözden yiter yitmez (örneğin nesneler yeniden düzenlendiği ve bundan böyle sıralarda durmadıkları zaman) aynı sayıda olmayı sürdürdüklerini düşünemez. Daha sonra, onları yeniden karşılık-düşme durumuna getirmeyi öğrenince, "tersinir küme" düşüncesine benzer bir düşünce oluşturur, e.d. belli nesneler kümesinin uygun işlemler yoluyla başlangıçtaki bire-bir karşılık düşme durumuna getirilebileceği düşüncesini üretir. Bundan nesnelerin tüm zamanlarda değişmez bir sayısının olduğunu anlatan yeni bir kavram ya da "ansal harita" oluşturur ki, bu geriye karşılık-düşme durumuna getirilebilecek türde kümeler ile işlemlerinin yapısını aslına uygun bir yolda temsil eder. Sonra, aşamalı olarak, karşılık düşme ilişkisini sağla-

yan işlemleri unutur ve nesnelerin sayısını verili bir toplam kümeye ait değişmez bir özellik olarak düşünür, üstelik bunlar deviniyor ve yeniden düzenleniyor olduğunda bile.

Sayıları bir kümenin özünlü ve kalıcı bir özelliği olarak düşünme yordamı öylesine alışkısal olur ki, "Sayı nedir?" problemi çok tartışma gerektirmeyecek denli açık olarak görülür. Gene de, modern matematikçiler bu soruyu incelemeye başladıkları zaman, yapmaları gereken şey sonuçta üzerinde her bir çocuğun başlangıçta kendi sayı kavramını geliştirdiği işlemsel temeli ortaya sermek oldu (böylece iki kümenin kardinal sayılarının eşitliğini bir kümenin sayıları arasındaki bire-bir karşılık düşmenin terimlerinde tanımlamaya ulaştılar). Böylece görürüz ki çoğu kez en derin problemler apaçık görünenin incelemesinde bulunur, çünkü "apaçık olan" sık sık yalnızca alışkısal olmuş ve temeli bilinçten düşmüş olan belli bir deneyim alanının değişimsiz özelliklerini özetleyen bir kavramdır. Böylece açıkta olanı anlamak için sık sık daha geniş bir bakış açısına geçmek ve böylece içlerinde belli özelliklerin değişimsiz olarak bulunduğu temel işlem, devim ve değişimleri aydınlığa çıkarmak zorunludur.

Özdeğin ya da tözün niceliğinin sakınımı açısından çok benzer bir problem doğar. Böylece, verili bir sıvı niceliği çeşitli şekillerdeki birçok kaba dağıtıldığında, küçük çocuk yeni dağılımın dolaysız algılarında ürettiği izlenimlere göre toplam su niceliğinin artmış ya da azalmış olduğunu söylemede duraksamaz. Daha sonra, suyu ilk kaba geri getirme olanağını gördüğü ve orada suyun başlangıçtaki ile aynı hacmı taşıdığını anladığı zaman, değişmez bir sıvı niceliği düşüncesine götürülür. Çocuğun anlayışının gelişiminde bu adımın zorunluğu açıktır. Çünkü verili bir tözün niceliğinin saklandığını varsaymak için *a priori* hiçbir neden yoktur. Bu düşünce ancak belli deneyim türlerini anlama gereksiniminin bir sonucu olarak ortaya çıkar. Daha sonra, kişi böyle bir düşüncenin gelişmesinin gerekmiş olduğunu unutur. Düşünce alışkısal olur, ve en sonunda evrenin toplam niceliklerinde saltık olarak kalıcı olan belli temel tözlerden yapılmış olduğunu varsaymak kaçınılmaz görünür. O zaman, sıradan deneyim düzleminde bu saltık kalıcılığı bulamadığımızda, onu atomik düzlemde ya da başka bir yerde konuttarız.

Sayılar durumunda olduğu gibi, burada da açık olanı anlama çabasında kimi çok derin sorunlar doğar. Hiçbirşey tözün kalıcı bir niceliği kavramından daha açık görünmez. Gene de, bu düşünceyi daha derin olarak anlamak için, böyle bir kavramın uygulamasını gerektirmeyen daha geniş bir bağlama geçmeliyiz. O zaman küçük çocuk örneğin sıvıyı ilk kaba geri dökme gibi belli işlemler altında bir tür *göreli değişimsizlik* keşfettiği zaman böyle kavramların doğduğunu görürüz. Böylece dolaysız algının *anlaşılmasında*, kişinin özsel olarak görelilik kuramında yapılanı yapması gerektiğini, saltık olarak kalıcı ve değişmez birşey kavramından vazgeçmesi, belli ilişkilerin ya da özelliklerin değişmezliğini gözlemde, ölçümde vb. kapsanan işlemlerin geniş alanında görmesi

gerektiğini buluruz—ama bir öyle alan ki orada koşullar, bağlam ve perspektif değişime uğrar.

O zaman, Piaget'nin çalışmasını toparlarsak, bebeğin bir akış durumu içindeki bir duyum, algı, duygu vb. bütünlüğü ile başladığını, ve bunda sürekli karakteristikleri olan tanınabilir bir yapının ya hiç olmadığını ya da çok küçük bir ölçüde bulunduğunu anımsıyoruz. Sonra anlağın gelişmesi bir işlemler, devimler vb. dizisi içinde doğar ki, bunlar yoluyla çocuk dünya üzerine birşeyler *öğrenir.* Özel olarak, öğrendikleri her zaman bu işlem ve devimlerde değişimsiz ilişkiler görme yeteneği üzerine dayanır, örneğin gördüğü ve işittiği vb. arasında bir tür değişimsiz karşılık-düşme ilişkisi, neden ve etki arasında değişimsiz bir ilişki, gözleri ile izlemekte olduğu bir nesnenin değişimsiz bir biçimi, belli değişimleri uygun işlemler aracılığıyla "geri almanın" değişimsiz bir olanağı, vb. vb. Her bir değişimsizlik türünün algısı daha sonra karşılık düşen bir ansal imgenin gelişimi (ve daha sonra örgütlü düşüncelerin ve dilin bir yapısı) tarafından izlenir ki, bu imge değişimsizlik ilişkilerini temsil eden bir tür "harita" olarak işlev görür, şu anlamda ki, işlemlerde ortaya serilen özelliklere benzer değişimsiz özellikleri imler (örneğin bir olanaklı yollar sonsuzluğu ile bağıntılanan kalıcı konumları ile bir uzayın ansal imgesi aynı yere birçok değişik yol aracılığıyla ulaşabilmenin edimsel deneyimine karşılık düşer). Çok geçmeden dolaysız algı bu "haritalar"ın yapısını üstlenir, ve bundan sonra kişi artık haritanın yalnızca değişimsiz olarak bulunmuş olanı *temsil ettiğinin* bilincinde değildir. Tersine, harita algılanan ile öylc bir yolda içiçe geçmeye başlar ki, deneyim bütününün kaçınılmaz ve zorunlu bir özelliği olarak görünür, ve öylesine açıktır ki temel özelliklerini sorgulamak çok güçtür.

Piaget'nin çalışması algı sürecini anlayabilmek için alışkısal duruş noktasının ötesine gitmenin zorunlu olduğunu belirtir. Alışkısal duruş noktasında kişi az çok ansal "haritalarımızın" genel yapısal özelliklerini dünyanın tasarlanabilecek tüm durumlarda başka türlü olamayacak özellikleri ile karıştırır. Tersine, kişi algı sürecimizin daha geniş bütünlüğünü bir tür akış olarak görmeye götürülür ki, bunda *göreli olarak değişimsiz* belli özellikler ortaya çıkmıştır ki, bunlar böyle "haritalar" tarafından temsil edileceklerdir, öyle bir anlamda ki, bu haritalar böyle özelliklerin yapısını aslına bağlı olarak betimleyeceklerdir. Ama bu kitapta gördüğümüz gibi, fizikte relativistik-olmayan bir bakış açısından relativistik bir bakış açısına geçmede benzer bir adım içerilir. Çünkü bunu yapmakla uzay, zaman, kütle vb. kavramlarımızı evrenin saltık olarak kalıcı ve zorunlu özelliklerini temsil ediyor olarak görmeye son verir ve bunun yerine onları belli araştırma alanlarında edimsel olarak varolan değişimsiz ilişkileri anlatıyor olarak görürüz.

A—3. ALGIDA DEĞİŞİMSİZİN ROLÜ

Piaget'nin önceki kesimde tartışılan çalışması anlama yetisinin gelişiminin verili bir işlemler, değişimler, devimler vb. alanında neyin değişimsiz olduğunu anlama ve bu ilişkileri edimsel olarak karşılaşılanlara benzer yapıları imleyen uygun ansal imgeler, düşünceler, sözel anlatımlar, matematiksel simgeler vb. aracılığıyla kavrama yeteneği üzerine dayanıyor görünür. Şimdi algı sürecinin doğrudan incelemesinden gelen belli kanıtlardan söz edeceğiz. Bunlar bu bakış açısının imlemlerini güçlü olarak doğrular ve uygulanabilirlik alanlarını dikkate değer ölçüde genişletir.

Algının bir tür *edilgin* süreç olduğu konusunda ortak bir görüş vardır ki, buna göre onda yaptığımız şey yalnızca duyu izlenimlerinin bize gelmesine izin vermektir. Bunlar daha sonra bütünsel yapılar olarak toparlanır, bellekte kaydedilir, vb. Bununla birlikte, edimsel olarak yeni incelemeler algının, tersine, *etkin* bir süreç olduğunu açığa çıkarır ki, bunda kişi birçok şey yapmalıdır ve bunların gidişinde kendisi algıladığı şeye belli bir *genel yapı* vermeye yardım eder. Hiç kuşkusuz, bu yapı nesnel olarak doğrudur, şu anlamda ki sıradan deneyimde karşılaşılan türde şeylerin yapısına benzerdir. Gene de gördüklerimizin büyük bir bölümünün kendi bedenlerimizin ve sinir dizgelerimizin işlev görmesi yoluyla belirlenen bir biçimde düzenlenmesi ve örgütlenmesi olgusunun yeni deneyim alanlarının incelemesi için uzak erimli imlemleri vardır—bunlar ister dolaysız algının kendisinin alanında, isterse bilimde olsunlar (bilim ki, genellikle yeni alanlara ulaşabilmek için aletlerden yardım gören algıya bağımlıdır).

Gözlemcinin etkin rolü en açık olarak dokunma algıları irdelenerek görülebilir. Böylece, eğer biri görünmeyen bir nesnenin şeklini yalnızca ona dokunarak bulmaya çalışırsa, nesneyi *ellemesi*, onu döndürmesi, ona çeşitli yollarda değmesi vb. gerekir. (Bu problem Gibson ve yardımcıları tarafından ayrıntılı olarak irdelenmiştir.[12])

Böyle işlemlerde parmaklar, bilekler, eklemler vb. üzerindeki *bireysel duyumlara* seyrek olarak dikkat edilir. Tersine, kişi nesnenin her nasılsa tüm duyumlardaki çok karmaşık bir değişimden doğan genel yapısını doğrudan algılar. Yapının bu algısı iki sinirsel enerji akımı üzerine bağımlıdır—yalnızca duyumların yukarıda değinilen içe doğru akımına değil, ama ayrıca bir de elin devimlerini belirleyen dışa doğru akıma. Çünkü bu yapının bilgisi dışa ve içe akımlar arasındaki *ilişkide* örtüktür (örneğin belli dönme, bastırma vb. devimlerine verilen karşılıkta).

O zaman açıktır ki, dokunma duyusu açıkça ve özünlü olarak algılayan özne tarafından yerine getirilen bir tür etkin işlemler kümesinin sonucudur. Gene de, elin devimine götüren dışa dönük dürtüler ve duyumlar akımı ya gözden kaçar ya da ancak çok uzaktan ayrımsanır.

[12]Bkz. J. G. Gibson, *Psychological Review*, 69, 477 (1962).

En güçlü olarak algılanan şey gerçekte nesnenin kendisinin yapısıdır. Açıkça görünür ki kendilerine eşlik eden duyusal karşılıklar ile birlikte, dikkate değer ölçüde karmaşık ve değişken devimler akımından beyin ellenen nesnenin *göreli olarak değişimsiz* bir yapısını soyutlayabilir. Bu değişimsiz yapı açıktır ki bireysel işlem ve duyumlarda değildir ama ancak belli bir zaman dönemi boyunca onların bütünlüğünden soyutlanabilir.

İlkin kişi *görmede* durumun temelden ayrı olduğunu, ve evrenin tablosunun yalnızca edilgin olarak "içe alındığını" düşünebilir. Ama daha dikkatli incclemeler görme ediminin algılayan öznenin benzer bir etkin rolünü içerdiğini, ve kişinin gördüğü şeylerin yapısının belli devimler ve bu devimlere gözün verdiği karşılıklar olan değişen duyumlar arasındaki benzer değişimsiz ilişkilerden soyutlandığını gösterir.

Görme için zorunlu olan en öğesel devimlerden biri gözyuvarının sürekli olarak küçük ve çok hızlı titreşimlere uğradığını ve bu titreşimlerin imgeyi kabaca gözün retinası üzerindeki bitişik hücreler arasındaki uzaklığa eşit bir uzaklık kadar kaydırdığını keşfeden Ditchburn[13] tarafından gösterilmiştir. Ek olarak, gözyuvarının imgeyi az çok başlangıçtaki özeğine geri getiren bir "fiske" tarafından izlenen daha yavaş bir düzenli sürüklenişi vardır. Bir kişinin bu devimin etkilerini gidermek üzere düzenlenen aynalar yoluyla bütün görme alanına bakması deneyleri ilkin çarpık bir görüş edimine ve çok geçmeden gören kişinin dünyanın duru bir imgesinin retinası üzerinde odaklanmasına karşın hiçbirşey görememesi anlamında görmenin tam bir bozulmasına götürdü.

Ditchburn bu fenomeni şu olguya başvurarak açıklamıştır. Sinir hücreleri üzerinde değişmez bir uyarı belli bir süre etkili olduğu zaman, hücreler *uyarlanır;* e.d. verdikleri karşılıkların gücü azalma, en sonunda algılanabilir olanın eşiğinin altına düşme eğilimine girer. Retinanın bütünü üzerindeki ışık yeğinliği kalıbının gözyuvarının devimlerini gideren aynalar yoluyla değişmez tutulduğu koşullar altında, böyle bir uyarlanma sürecinin yer alması beklenir. Ditchburn'un deneylerinde gözlendiği gibi, bu yolda görme alanında olanın çarpıtılması ve en sonunda sönüp gitmesi açıklanabilir. Bununla birlikte, normal görme ediminde uyarlanma ancak bölümsel olacaktır, çünkü gözyuvarının titreşimleri ve başka devimleri her zaman retina üzerindeki ışığın kalıbında karşılık düşen değişimleri üretiyor olacaktır. Verili bir retinal hücreye bağlı sinirlerin karşılıkları söz konusu noktadaki ışık yeğinliği üzerine olmaktan çok bu ışık yeğinliğinin konum ile *değişme* yolu üzerine dayanacaktır. Bu demektir ki optik sinirin uyarılması retina üzerindeki ışık kalıbına değil ama dahaçok değişkiye uğramış bir kalıba karşılık düşer ki, bunda zıtlıklar artar ve nesnelerin ışık yeğinliğinin konuma bağlı olarak keskin bir değişim gösterdiği sınırlarında güçlü bir izlenim üretilir. Bu yolda nesnelerin anahatları ve biçimleri üzerinde onların ayrı ve seçik olarak algılanmasına götürmeye yardım eden

[13]R.W.Ditchburn, *Research,* 9, 466 (1951), *Optica Acta,* 1, 171 ve 2, 128 (1955).

bir vurgu elde edilir, bir algı ki eğer göz ışık yeğinliğinin değişimlerine olmaktan çok ışık yeğinliğinin kendisine duyarlı olsaydı böylesine duru ve belirgin olmazdı.

Platt[14] çizgilerin düzlüğünü büyük bir sağınlık ile ayırdetme yeteneğimizin sözünü ettiğimiz sürüklenme ve "fiske" devimlerine, ya da onlara benzer devimlere bağlı olduğu gibi ilginç bir öneride bulunmuştur. Şimdi, Hubel ve Wiesel[15] optik sinirden retina ganglion hücreleri yoluyla beyne giden bağıntıları izleyerek retina üzerinde kısa doğrusal çubuk dilimlerini andıran belli türlerde bölgelerin korteksin karşılık düşen hücrelerine haritalanmış olduğunu göstermiştir. Bu haritalama görme alanının hangi dilimlerinin çizgiler olduğu konusunda göreli olarak kaba ayrımlar yapma yeteneğimizi açıklayabilir (ve bu ayırdetme çubukların genellikle retina hücreleri arasındaki uzaklığın birçok katı olan bir düzendeki genişliğine karşılık düşen bir sağınlık ile yerine getirilir). Öte yandan, Platt'ın belirttiği gibi, eksiksiz doğrusallıkta kırılmalar gözlenebilir ki, retinal imge üzerinde bunlar hücreler arasındaki uzaklığın yaklaşık olarak otuzda birine karşılık düşer. Platt'ı ilgilendiren problem bu dikkate değer sağınlığın nasıl olanaklı kılındığını açıklama problemidir.

Platt'ın önerisi gözyuvarının devimlerinin çevrimler olduğunun dikkate alınması üzerine dayanır. Retinanın fovea bölgesine (e.d. şekil, büyüklük vb. üzerine sağın bir ayırdetmenin yapılacak olduğu her zaman işe karışan küçük özeksel görüş bölgesi) koşut bir düzlemdeki bir eksende gözyuvarı küçük bir çevrim yaptığında, etki bu bölgedeki imgeye karşılık düşen doğrusal bir devim vermektir. Genel bir beti için, böyle bir devim uyarının kalıbında *belli bir* değişiklik üretecektir ki, hiç kuşkusuz algılanabilir olacaktır. Ama kendisi imgesinin yer değiştirme yönüne koşut olan düz bir çizgi dilimi gibi özel bir durum için, çizgi kendi içine kayacaktır. Buna göre, imge bu devim altında *değişimsiz* olacaktır. Platt o zaman beynin böyle değişimsizliğe duyarlı olma gibi bir yanının olduğunu konutlar ve bununla onun düzlük özelliğini tanımasına izin verir.[16]

Açıktır ki süreçte ayırdetme sağınlığının retinanın hücreleri arasındaki uzaklık tarafından sınırlanması gerekmez. Çünkü eğer bir çizgi düz değilse sinirlerin uyarılma kalıbında bir değişiklik üretecektir. Eksiksiz doğrusallığın bulunmayışı bir retinal hücrenin büyüklüğünden daha küçük bir bölgede olsa bile bu değişiklik saptanabilir, yeter ki böyle

[14]J. R. Platt, *Principles of Self Organising Systems*, yay. haz. Zopf ve von Fuerster, Pergamon, 1961; *Information Theory in Biology*, yay. haz. Yockey, Quastler ve Platzman, Pergamon, 1958; ve *Scientific American*, **202,** 121, June 1960.

[15]D.H.Hubel, *Scientific American*, **209**, 54, November 1963.

[16]Doğru çizgilerin uyarlanmanın bir sonucu olarak görme alanından bütünüyle yitmemesi olgusu birçok olanaklı düzenek yoluyla açıklanabilir, örneğin gözlenen yeğinlikleri zayıflamaya başlayınca gözyuvarının bir "fiske" aldığı ve bunun çizgiyi foveal bölgenin yeni bir bölgesine taşıdığı varsayılarak.

hücreler üzerinde yer almakta olan ışık yeğinliğinin kalıbındaki küçük değişimlere karşı yeterli *duyarlık* olsun.[17]

Bununla birlikte, genellikle aynı tür verileri elde etmek için birbirini pekiştiren ya da birbirine yardım eden *birçok* almaşık düzeneğin olması algının karakteristiğidir. Böylece, Hubel ve Wiesel tarafından ortaya koyulduğu gibi, retina üzerindeki çubuk-benzeri bölgelerin beynin korteks hücrelerinin içerisine haritalanması bize düz çizgilerin kaba bir algısını verebilir ki, daha ince ayrımlar yapılacak olduğu zaman, Platt'ın önerdiği süreç yoluyla tamamlanabilir. Dahası, Piaget'nin Kesim–2A'da tartışılan çalışmasının bir irdelemesinden çıkarak denebilir ki, çocukluktan başlamak üzere tek tek herkes hangi çizgilerin düz çizgiler olduğunu *bilmenin* belli yollarını oluşturur ve bunu uzun bir zaman dönemi boyunca deneyim yoluyla kazanılmış bir tür ızgara-çizgileri belleği yoluyla yapar. Ek olarak, Held, Gibson ve başkalarının çalışmalarında daha başka düzenekler kapsanır ve bunları birazdan tartışacağız.

Göz üzerine çalışmada vurgulamayı istediğimiz özsel nokta gözün retinası üzerindeki imgedeki devimler ya da değişimler olmaksızın hiçbirşeyin algılanmadığı, ve bu değişikliklerin karakteristiklerinin edimsel olarak görülen yapıyı belirlemede büyük bir rol oynadığıdır. Böyle değişikliklerin yalnızca çevrede doğal olarak yer alan değişimlerin bir sonucu olmaması, ama (dokunma algısı durumunda olduğu gibi) ayrıca gözlemcinin kendisinin duyu örgenlerindeki devimler tarafından da etkin olarak üretilebilmesi önemlidir. Bu değişikliklerin kendileri dikkate değer bir düzeyde algılanmaz. Algılanan göreli olarak değişimsiz birşeydir, örneğin bir nesnenin anahatları ve biçimi, çizgilerin düzlüğü, şeylerin büyüklük ve şekilleri vb. Gene de değişimsizlik imge etkin olarak değiştirilmedikçe algılanamaz.

Held ve yardımcıları ve Gibson tarafından yapılan deneyler[18] bedenin devimlerinin, özellikle böyle devimler ve sonuç olarak dünyanın optik imgesinde görülen değişimler arasındaki eşgüdümün de optik algıda özsel bir rol oynadığını açığa çıkarmıştır. Örneğin insanlara çarpıtıcı gözlükler (ki düz çizgilerin eğri görülmesine neden olurlar) taktırıldığı ve önceden bilmedikleri bir yolda modellenmiş bir odaya girmelerine izin verildiği zaman, sonunda gözlüklere bağlı bu çarpıtmanın etkilerini "düzeltmeyi" öğrenirler, ve *gözlerinin retinaları üzerindeki düz bir çizgi imgesinde edimsel olarak bulunması zorunlu olan eğriliği görmeye son verirler.* Daha sonra, gözlükleri çıkarınca, hiç olmazsa bir süre için, düz çizgileri eğri olarak görmeyi sürdürürler. (Böyle bir deneyin daha aşırı bir durumu bir kimsenin dünyayı imgeyi tersine çeviren gözlüklerden

[17]Gözyuvarının foveanın düzlemine dik bir eksen çevresinde dönüşleri biçimdeş eğriliği (e.d. küçük bir yay bölgesinde hiçbir eğrilik değişiminin olmaması) tanımada karşılık düşen bir yolda sağın bir sürece izin verecektir.

[18]Bu deneylerin bir tartışması için bkz. R. Held ve S. J. Freedman, *Science,* **142,** 455 (1963); *Psychology, A Study of Science,* S. Koch (yay. haz.), McGraw-Hill, New York, 1959, s. 456; R. Held ve J. Rekosh, *Science,* **141,** 722 (1963).

görmesini sağlamaktır. Bir süre sonra doğru yanı yukarıda görür, ama gözlüğü çıkarınca bir süre için yine yukarıyı aşağıda görmeyi sürdürür.)

Bu deneylerin ilginç yanı bir düz çizgiye karşılık düşen şeyi "yeniden öğrenme"nin çok güçlü olarak bedeni etkin olarak devindirme yeteneği üzerine dayanmasıdır. Böylece çevrede özgürce yürüyebilen insanlar görüşlerini gözlüklerine oldukça hızlı ayarlayabilirken, eşdeğer devimleri edilgin olarak iskemlelerde yerine getirenler ya hiçbir zaman bunu yapmayı öğrenemez ya da böyle öğrenmede çok daha az etkili olur. Böylece açıktır ki özsel olan şey yalnızca gözdeki imgenin devimden kaynaklanan uygun *değişikliklerinin* olması değil, ama ayrıca bu değişikliklerden bir bölümünün algılayan özne tarafından *etkin olarak* üretilmesidir. Başka bir deyişle, dokunma algısı durumunda olduğu gibi, kişinin edimsel olarak gördüğü her nasılsa görülen şeydeki bir değişiklikler kümesinden değişimsiz olanın soyutlanması yoluyla belirlenir, ve bu değişiklik en azından bölümsel olarak gözlem sürecinin kendisinin özsel bir yanı olarak üretilmiştir.

Yukarıdaki deneyde usauygun bir yolda varsayılabilir ki devimler ile erken çocuklukta başlayan deneyimler yoluyla (Piaget'nin çalışmasında tartışıldığı gibi), herkesin daha şimdiden bedensel devimlerinin içerisine kurulu bir tür Euklides yapısı vardır. Gözler kapalı olmak üzere bir odanın kenarına yürümeye çalışma yoluyla doğrulayabildiğimiz düzeye dek, sinir dizgemizde yolumuzun doğruluğuna, dönme miktarına vb. ilişkin bir bilgiyi bedenimizdeki tüm değişen devim ve duyumlardan soyutlamamızı olanaklı kılan bir tür yetenek ya da beceri var görünür. Normal görüşte (çarpıtıcı gözlükler olmaksızın) kişi böyle mekanik olarak duyumsanan bir düz çizgi boyunca yürürken gözlerin retinası üzerindeki imge (hiç olmazsa yaklaşık olarak) bir *izdüşümsel dönüşüme* uğrar ki, bunda betilerin görünürdeki şekilleri değişir, ama düz çizgiler düz çizgilere dönüştürülür. Öyleyse kişi düz bir çizgi üzerinde yürürken, devim yönünün değişimsizliği üzerine mekanik olarak türetilen bilgi ona karşılık düşen ve görme alanındaki çizgilerin izdüşümsel dönüşümünden soyutlanan optik bilgi tarafından imlenen şey ile anlaşma içinde olacaktır. Bununla birlikte, kişi çarpıtıcı gözlükler takınca, mekanik olarak düz bir çizgide yürüme olarak duyumsanan şey optik olarak eğri bir çizgide yürüme olarak duyumsanacaktır. Böylece görülen şey ve dokunma, devim, kinestetik duyumlar vb. yoluyla algılanan şey arasında bir çelişki vardır. O zaman öyle görünür ki, bilinç düzleminin altında, beyin ve sinir dizgesi edimsel olarak düz bir çizgiyi neyin oluşturduğuna ilişkin çeşitli önsavları sınayarak bu çelişkiyi çözmeye çalışmaktadır.[19] Görülen ve mekanik olarak duyumsanan arasındaki çelişkiyi kaldıran bir önsav bulunduğu zaman, bu önsav bir bakıma algıladığımız yapıda doğrudan doğruya cisimselleştirilir. Öyleyse, çarpıtıcı mercekler takan

[19]Örneğin Platt beynin gözyuvarının retinaya koşut ve dik bir eksen çevresindeki çevrimlerinin yeni bir bileşimini bulabileceğini ileri sürmüştür. Bunlar mekanik olarak duyumsanan doğru çizgiler ile tutarlı olarak eşgüdümlü kılınabilir.

bir kişi sonunda optik olarak eğri bir çizgiyi mekanik olarak düz bir çizgiyi duyumsadığı koşullar altında algılamaya son verir, ama tersine aynı düz çizgiyi *görmeye* ve *duyumsamaya* başlar (Piaget'nin önceki kesimde tartışılan çalışmasında çocuğun gördüğü, işittiği, yakaladığı vb. arasında değişimsiz bir karşılık-düşmeyi algılamayı öğrenmesi gibi.)

Ditchburn, Hubel ve Wiesel'in, ve Platt'ın çalışmalarının tartışmasında daha önce optik sinirin gözün retinasının üzerindeki imgenin yalın bir "eşlem"ini iletmediğini, ama dahaçok zıtlıkları arttırarak ve çizgilerin ve böyle başka betilerin bulunuş ya da bulunmayışına duyarlı olarak belli yapısal özellikleri vurgulama eğiliminde olduğunu gördük. Bununla birlikte, Held ve Gibson'ın çalışmalarından açıkça görüldüğü gibi edimsel olarak algıladığımız tablo *verili bir kıpıda gözün retinası üzerinde bile olmayan*, ama belli bir zaman dönemi boyunca gözlenen ilişkilerin yardımıyla saptanan yapısal özellikler kapsar.

Algılanan tablo öyleyse yalnızca kıpısal duyu izlenimlerimizin bir imgesi ya da yansıması değil, ama tersine bir tür "iç görünüş"te ayrımsadığımız sürekli-değişen (üç-boyutlu) bir *kuruluma* götüren karmaşık bir sürecin sonucudur. Bu kurulum algılayan öznenin kendisi tarafından etkin olarak üretilen bir devimler kümesi ve duyusal "girdiler"inin bütünlüğünde ortaya çıkan değişimler arasındaki ilişkide değişimsiz olanın soyutlaması üzerine dayanır. Böyle bir kurulum sonuçta kişinin söz konusu çevre ile genel deneyiminin gözlenen değişimsiz özellikleri ile bağdaşabilir bir tür "önsav" olarak işlev görür. (Örneğin, düz bir çizginin algısı bu çizgi ile ilişkilerde deneyimlenen optik, mekanik ve başka değişimlerde değişimsiz olan üzerine bir önsava karşılık düşer—bu değişimler kişinin çizgi ile algısal karşılaşmalarında yapılmış olan devimlerin bir sonucu olmak üzere.)

Yalnızca kurulum süreci yukarıda betimlendiği gibi devim ve duyu algıları arasındaki değişimsiz ilişkilerin soyutlaması üzerine dayanmakla kalmaz, ama algılayan özne tarafından *bilinen* herşey üzerine de dayanır. Örneğin, eğer bir kimse bir harfe duru ve seçik bir görüş için biraz fazla büyük bir uzaklıktan bakarsa, biçimi çok bulanık olan ve kolay seçilemeyen birşey görecektir. Ama eğer harfin ne olduğu kendisine *söylenirse*, imgesi birdenbire göreli olarak büyük bir durulukta görünecektir. Ya da, almaşık olarak, oldukça karmaşık motifli bir halı üzerine küçük bir metal para düşürdüğünde genellikle onun gözden yittiğini bulacaktır. Sonra, eğer yansıyan ışığın bir parıltısını yakalarsa, yitirdiğini *bildiği* para birden algısında kendini gösterecektir. İmgesi tüm zaman boyunca retinası üzerinde olmuş olmalıdır, ama yansıyan parıltı üzerinde hiçbirşey olmayan bir halının algısı ile çelişinceye ve ayrıca bildiği yitik parayı düşündürünceye dek para algının "iç görünüşü"ne girmemiştir.

Gibson[20] algının yukarıda betimlenen genel özelliklerini daha öte ortaya koyan büyük bir sayıda deneyi betimler. Derinlik algısında, ya da

[20]J. G. Gibson ve E. J Gibson, *Journal of Experimental Psychology*, **54**, 129 (1957).

dünyanın üç-boyutlu karakterinde iki göz ile görüş ilgili etmenlerden yalnızca *biridir.* Bir başka önemli etmen tam olarak şeylerin biz devinirken değişmekte olan optik görünüşüdür. Böylece yürürken yaklaşmakta olduğumuz bir nesnenin imgesi büyür. Nesne ne denli yakınlaşırsa, görünürdeki büyüklüğü o denli hızlı değişir. Bu yolda (ve ayrıca örneğin gölgelerin yeri, uzak nesnelerin göreli olarak puslu görünmesi vb. gibi başka birçok yolda), beyin görüş çizgisi boyunca uzanan boyutta nesnelerin uzaklıklarını ilgilendiren bilgiyi soyutlayabilir. Böyle bilgi temeli üzerinde, sürekli olarak daha önce betimlenen yolda, e.d. değişimsiz olana ilişkin çeşitli "önsavlar" getirerek, algılananın alanını "kurmaktadır." Örneğin eğer biri birşeyin uzaklığını yanlış yargılarsa, büyüklüğünü de yanlış yargılayacaktır. Biri yürürken nesnenin görünürdeki büyüklüğünü uzaklığı üzerine yargımız tarafından imlenen yolda değiştirmediğini duyumsayabilir. Birdenbire, algı alanında nesneyi görmenin yeni bilgi ile tutarlı olan ayrı bir yolu görünecektir.

O zaman algı alanında edimsel olarak görünen şeyin, hiç olmazsa kişi göreli olarak durgun birşeyi görmekte iken, büyüklük, şekil ve uzaysal ilişkilerinde değişimsiz olarak görülen şeylerin bir yapı, düzen ve örgütlenişi olduğunu görürüz. "İç görünüş"teki bu kurulum öyle bir doğadadır ki, değişimsiz olduğu sayıltısı yalnızca şimdiki optik görünüşünü değil ama görünüşünde geçmiş devimlerin bir sonucu olarak deneyimlenen başkalaşımları da açıklar, tıpkı onun hakkında bildiğimiz ya da bildiğimizi düşündüğümüz herşeyi olduğu gibi. Her bir kıpıda böyle bir kurulumun geçici bir karakteri vardır, şu anlamda ki, eğer imlediği şey daha sonraki deneyimlerde sonuçtaki devimlere, yoklamalara, sınamalara vb. eşlik eden çelişkilere götürürse değişimlere uğrayabilir. Burada, algılayan öznenin *etkin* devimlerinin özsel bir rolünü görürüz, çünkü bunlar yoluyladır ki algının "iç görünüş"ünde yürürlükteki "önsavlar" her zaman sınanmakta, düzeltilmekte, değiştirilmektedir vb.

Bu noktaya dek yalnızca algılayan bir öznenin göreli olarak statik bir çevrede devinmekte olduğu durumu irdeledik. Eğer çevresinde de devimler yer alıyorsa, o zaman gözlenen değişimlerin hangilerinin gözlemcinin devimlerine bağlı olduğunu ve hangilerinin çevrede olanların devimlerine bağlı olduğunu bilme gibi ek bir problem doğar. Bu problem sonuçta daha yüksek düzenden bir değişimsiz tipini, e.d. *göreli olarak değişimsiz bir devim durumunu* soyutlama yeteneği tarafından ele alınır.

Genel olarak konuşursak, bir kimse çevresinde devinirken beyni bu devimlerin bir sonucu olarak önemli ölçüde değişmeyen özellikleri ayrımsamaya (büyük ölçüde bilinçsiz olarak) başlar. Bunlar uzak ve göreli olarak durağan bir arkatasar olarak ele alınır ki, başka devimler onlara karşı algılanabilir. Hiç kuşkusuz, bir kişi yürürken, başını çevirirken vb. daha yakın nesneler görünürdeki büyüklüklerini, şekillerini vb. dizgesel bir yolda dikkate değer ölçüde değiştirir. Öyle görünür ki, beyin yakın çevredeki böyle görünürde devim ve değişimlere karşı—özellikle bunlar algılayan öznenin kendisi tarafından üretilen devimler ile eşgüdümlü

kılındığı zaman—duyarlı olma yeteneğini geliştirmiştir. Bu algılanan şeyin alanında kendiliğinden doğan devimlerin dışlanmasına izin verir, öyle ki "iç görünüş"ün kurulumu onda algılayan öznenin kendisinin deviniyor olarak göründüğü genel olarak statik bir dünyaya karşılık düşer. Bu nedenle, bir kişi bir odada dolaşırken odayı deviniyor, çevresinde dönüyor ve şeklini değiştiriyor vb. olarak duyumsamaz. Dahaçok, algılamış oldıklarındaki tüm değişiklikleri açıklayacak bir yolda odayı durağan ve kendini deviniyor olarak algılar. Ama eğer örneğin iç kulaktaki ince denge düzeneği bir zarara uğramışsa, bundan böyle mekanik algılarını optik algıları ile eşgüdümlü kılamaz. O zaman baş dönmesi duyabilir, ve dünyanın onun çevresinde döndüğünü duyumsayabilir. Bu iki algı kipi arasındaki ayrım onu deneyimlemiş olan herkes için çok çarpıcıdır.

Algılayan öznenin deviminin ortadan kaldırılması temelinde, beyin o zaman sonraki soyutlama düzlemine geçebilir ve burada durağan olarak algılanan bir arkatasara karşı görme alanının belli bir bölümünün devimini duyumsar. En yalın durum verili bir nesne yalnızca uzayda bir yer değişimine ve belki de ayrıca bir çevrime uğradığı zaman doğar. Bu durumda kişi nesneyi edimsel olarak değişmez bir büyüklük ve şekil taşıyor olarak algılayabilir ve bunu nesnenin retinası üzerindeki imgesinin tüm zaman boyunca değişmekte olması olgusuna karşın yapabilir. Bu algı böyle bir nesneyi söz konusu nesnenin her biri hafifçe ayrı bir konumda olan "dingin" resimlerinin bir dizisi olarak olmaktan çok *belli bir devim durumuna* iye olarak görme yeteneği ile ayrılmamacasına bağlıdır. Sanki beyin devinen bir nesnenin değişmez bir şekil taşıyor olarak görülebilmesini sağlayan eş-devimli bir gönderme çatısı oluşturabiliyormuş gibidir. Bu yolda, beyin kurulum sürecinde belli bir devim durumunu soyutlama yeteneğini kapsıyor görünür ki, verili bir şekilde olan bir nesne sayıltısı altında, bu yetenek belli bir zaman dönemi boyunca nesnenin görünüşünde algılanan değişimler ile bağdaşabilirdir.

Hiç kuşkusuz o zaman bu yolda açıklanamayacak daha öte değişim türleri olacaktır (örneğin bir nesne edimsel olarak büyüyebilir, biçimini değiştirebilir vb.). Bunların söz konusu nesnedeki daha ince iç değişimlerin terimlerinde algılanması gerekecektir.

Devimin nasıl algılandığı sorunu tam olarak çözülmüş olmaktan uzaktır. Gene de daha şimdiden açıktır ki böyle bir algı yalnızca verili bir kıpıdaki "duyu izlenimleri" üzerine dayandırılamaz. Tersine, algıladığımız "iç görünüş" belli yapısal özelliklere anlatım verir ki, bunlar yalnızca dolaysız duyumlardan soyutlamalar üzerine değil ama daha erken algıların az çok geniş bir kümesi üzerine bir dizi soyutlama üzerine de dayanır. Gerçekten de, böyle bir soyutlamalar dizisi olmaksızın bir dünyayı iyi tanımlı bir düzen, örgütleniş, yapı vb. taşıyor olarak göremezdik. Giderek statik bir çevre bile etkili olarak "iç görünüş"te geçici ve hipotetik bir yapı olarak sunulur ki, değişimsiz olarak varsayıldığında, algılayan öznenin kendisinin ürettiği devimlerde bu çevre ile yaşadığı değişen deneyimler ile bağdaşabilir olacaktır. Ve kendisi değişmekte olan bir

çevre "iç görünüş"te parçalarının değişimsiz devim durumlarının terimlerinde anlatılan bir yapı olarak sunulur ki, algılayan öznenin devimleri tarafından açıklanmayan daha önceki değişen deneyimleri açıklar.

Gözlemciye ya da çevrenin çeşitli parçalarına devimlerin yüklenmesinde de bir ikircim doğabilir. Böylece, eğer bir kişi devinmeyen bir trende oturuyor ve devinen bir başka treni pencereden gözlüyorsa, kendini deviniyor olarak algıladığını bulabilir, ve giderek fiziksel (kinestetik) devim duyumları bile yaşayabilir. Ama trenin beklenen sarsılma ve titreşimlerini duyumsayamadığı zaman, daha dikkatle bakmaya başlar, ve çok geçmeden çevrede öteki trenin devindiğini ve kendisinin dinginlikte olduğunu düşündüren daha öte ipuçları görebilir. Birden dünyayı algılama kipi değişir. Bu olgu dünya üzerine algılarımızın nasıl belli bir durum ile bağıntı içinde deneyimlediğimiz herşey ile bağdaşabilir olan bir önsav için araştırma üzerine dayalı "iç görünüş"teki bir kurulum olduğunun çarpıcı bir tanıtıdır. Böylece *salt* gözlerimizin önünde olanı algılamayız. Onu işlerin hangi değişimsiz durumunun (ki *değişimsiz devim* durumlarını içerebilir) ona götüren dolaysız deneyimi ve daha önceki deneyimlerin geniş bir erimini açıklayacağı konusundaki soyutlamalar yoluyla örgütlenmiş ve yapılandırılmış olarak algılarız.

Yukarıda betimlenen türde sonuçlar Gibson'ı[21] algıyı neyin oluşturduğu konusunda yeni bir kavram önermeye götürdü. Gibson algının yalnızca gözlemci tarafından sağlanan ilkeler yoluyla örgütlenmiş ve yapılaştırılmış duyu izlenimlerini edilgin olarak toplamaktan oluştuğu düşüncesinin bir yana atılması için gereksinimi vurgular. Gerçekten de, yalıtılmış duyu izlenimleri edimsel algı sürecinde herhangi bir önemli rol oynamayan aşırı ölçüde yüksek bir soyutlama düzlemi olarak görünür. Bunun yerine, doğrudan doğruya çevremizin kendisinin yapısına duyarlıyızdır. Buna göre, son çözümlemede gözlemci algılarının yapısını *sağlamaktan* çok *onu soyutlar.* Ya da Gibson'ın kendisinin bu noktayı belirttiği gibi, çevremizin yapısı algıladığımız şeyi (ayrımsamamızda bulunan "iç görünüş"teki kurulumu) doğuran *uyarıdır.* Örneğin, optik algı açısından Gibson her bir uzay bölgesi içinden tüm yönlerde bir ışık ışınları sonsuzluğunun geçtiğini belirtir. Bu ışık ışınları *örtük olarak* evrenin yapısına ilişkin olarak görme yoluyla elde edebildiğimiz tüm verileri kapsar.[22] Ama belli bir konumda durağanlaşmış bir göz bu verileri soyutlayamaz. Birçok yolda devinmeli, ve bu devimlerin en azından bir parçası gözlemcinin kendisi tarafından üretilmelidir, çünkü (ilkin Held ve yardımcıları tarafından ortaya koyulduğu gibi) yapısal veriler başlıca bu devimlere neden olan dışarıya yönelik sinirsel uyarılar ve onlardan doğan içeriye yönelik sinirsel uyarılar arasındaki değişimsiz ilişkilerden soyutlanır.

Gibson algıda zamanın rolü açısından bir dizi ilgili soru getirir. Ör-

[21]J.G.Gibson, *American Psychologist,* **15,** 694 (1960).

[22]Aynı ilke benzer radyo dalgaları kümesi yoluyla bütün evrenin yapısı ile (bir bakıma) değme durumunda olan radyo teleskop için de geçerlidir.

neğin tipik bir soru şudur: "Tikel bir uyarı ne zaman bir sona gelir?" Bu soruna bakmanın eski yolu "aldatıcı şimdi/*specious present*" denilen şeye başvurmaktır. Eş deyişle, "aldatıcı bir yolda" tek bir kıpı olarak yaşanan ve saniyenin onda biri düzeninde olan bir zaman aralığının olduğu düşünülür ve bu insanların ondan daha kısa zamanlarda yer alan değişimleri açıkça ayırdedemiyor göründükleri anlamında alınır. Bu düşünceden tüm algılarımızın ilkede zamanda benzersiz olarak düzenlendiği sonucunun çıktığı ve bunun saniyenin yaklaşık onda biri kadar bir doğruluk içerisinde olduğu kabul edilir. Buna karşın, Gibson algı sürecinin özsel özelliklerini bu yolda böyle bir zaman düzenine başvurarak anlamaya çalışmanın bir karışıklık kaynağı olduğunu düşündüren sorular getirir.

Gibson'ın algıların yukarıda betimlenen yalın zaman düzenini niçin sorguladığını anlamak için, herhangi bir yolda belirgin olarak kıpısal duyumlar algılamadığımızı anımsayalım. Dahaçok, bunlardan soyutlanan genel bir yapıyı, açıkça belli bir zaman dönemi boyunca kurulmuş bir yapıyı algılarız. Daha önce örneğin optik algı ile bağıntı içinde belli bir zaman boyunca elde edilen ipuçlarının verili bir kıpıda biraraya gelebileceğini ve algılanan şeyin yeni bir yapısını ortaya çıkarabileceğini gördük. Bu yeni yapının alınan en son ipucu üzerine dayandığını söylemek açıkça anlamsız olacaktır. Tersine, yapı ipuçlarının bütün bir kümesi üzerine dayanır. Bu demektir ki, algılarımıza verili bir uyarı ayırdedilebilecek en küçük zaman aralığına kısıtlı değildir. Tersine, denebilir ki çok kimi uyarılar daha uzun aralıklar boyunca yer alır.

Müzikte uyarıların özelliği çok daha açık olarak görülür. Bir melodiyi dinlediğimiz sırada, her bir yeni nota gelirken daha önce işitilen notalar anlıkta yinelemeyi sürdürür. Bu süreçte bir müzik parçası belli bir kıpıda birdenbire anlaşılabilir (e.d. bütünsel yapı algılanabilir). Ama açıktır ki alınan en son nota böyle bir anlayışın biricik temeli değildir. Tersine, anlıkta notaların bütün *yapısı* yankılanır. Bu notaların zaman düzenlerine kısıtlı olmayan çok yanlı ilişkileri vardır. Bu ilişkileri anlamak müziği anlamaya özseldir. Müziğin özsel içeriğini müziğin zaman düzeninin terimlerinde görme çabası o zaman probleme karışıklık yaratma eğiliminde olan aşırı dar bir bakış yoluna götürebilir.

Benzer bir yolda dizemin nasıl algılandığı problemi irdelenebilir. Herhangi bir kıpıda işitilecek tek bir vuruş vardır. Ama tek bir vuruş bir dizem değildir. Açıktır ki dizem algısını oluşturan şey tümü de belli bir ilişki içinde olmak üzere bütün vuruşlar kümesinin anlıkta yankılanmasıdır. Bir dizem oluşturan uyarı o zaman yalnızca tek bir zaman kıpısı ile ilgili olamaz. Böylece algının özsel özelliklerinin her zaman bir zaman düzeni içinde algılanan şeylerin dizilmesi yoluyla anlaşılmayacağını görmek önemli görünür.

Gerçekten de, birçok durumda algılanan şeyin verili bir özelliği için benzersiz bir zaman kıpısı saptamak olanaklı değildir. Bir müzik parçasını dinlerken kişi birçok saniye üzerine kurulu olan bir dizemi, ay-

rımsanması bir dakikayı ya da daha çoğunu gerektirebilen bir temayı dinliyor olabilir, ve bir kronometreye bakıyor ve kolun belki de belli bir saniye kesrini belirten devimlerini görüyor olabilir. Biri "şimdi" derken, bununla ne demek ister? Saatin üzerindeki kolun belli bir konumunun algısına, dizemin belli bir parçasının algısına, temanın belli bir parçasının algısına mı, yoksa belki de başka birşeye mi göndermede bulunmaktadır?

O zaman öyle görünür ki, kişinin algılarının *bütünlüğünü* tek bir benzersiz zaman düzeninde düzenleme çabası karışıklığa ve saçmalığa götürüyor olmalıdır. Belli algılar böyle *düzenlenebilir* (örneğin saatin göstergesi üzerindeki kolu görmeye benzer olanlar). Ama algı sürecini daha geniş bir bağlamda anlamak için, algılanan yapıların böyle bir zaman düzeni ile alışıldık tasarımlarımızın bizi düşünmeye götürebileceği denli katı bir yolda ilişkili olmadığını görmeliyiz. Örneğin bugünün algılarının dünün olayları ile çok güçlü bir ilişki içinde olmaması anlamında gevşek bir zaman düzeni vardır (gerçi o algılar henüz bizde "yankılanıyor" ve şimdiki algıları şekillendirmeye yardım ediyor olsa da). Gene de her bir algının birbiri ile daha önce, daha sonra ya da eşzamanlı ("aldatıcı şimdi" dönemi içerisinde) olarak benzersiz bir yolda sıralı olduğu biçimindeki katı anlayış bir tür karışıklığa götürüyor görünür ve bu durum onun büyük olasılıkla edimsel algı olguları ile çok az ilgisinin olduğunu belirtir.

Belki de olayların zaman düzenini bir sürecin anlaşılmasına temel olarak görme girişiminin algıya uygulandığı zaman yol açtığı karışıklığa benzer bir tip karışıklıkta sonlandığını gösteren yalın fiziksel bir problem örneğini irdelemek öğretici olabilir. Tartışmamız uğruna varsayalım ki Mars'ta varlıklar olsun ve Yeryüzünden gelen radyo sinyallerini incelemekle ilgileniyor olsunlar. Televizyon sinyallerini gözlemlemeye başladıkları zaman eğer bu sinyallerin özsel ilkesinin onların *zaman düzenini* belirleyen bir tür ilişkiler formülü ya da kümesi olduğunu varsayacak olurlarsa onlardan çok fazla anlam çıkaramayacaklardır. Sinyaller gerçekte ancak *bütün resimlerin* bir dizisinde köken aldıkları ve bunların daha sonra dizgesel olarak vuruşların bir zaman dizisine çevrildiği saptandığı zaman doğru olarak anlaşılabilir. Vuruşların edimsel düzenini yöneten ilkeler öyleyse radyo sinyallerinde alınan zaman düzeninin uzaysal yapısından çok ayrı bir uzaysal yapının terimlerinde kavranacaktır. Ya da, başka bir yolda anlatırsak, *sinyallerin düzeni özsel olarak zaman düzeni ile ilişkili değildir.* Benzer bir yolda, algı sürecimizin yapısı da özsel olarak hipotetik bir kıpılar dizisi ile ilişkili olmayabilir, ama "aldatıcı şimdi"nin döneminin çok ötesine uzanan uygun zaman aralıkları boyunca alınan şeyin (televizyon sinyali gibi) bütünleştirilmesini ilgilendiren çok ayrı türden ilkeler üzerine dayanıyor olabilir.

Eğer verili bir algı böyle genişlemiş zaman dönemleri boyunca gelen şeyleri bütünleştiriyorsa, bu *belleğin* algıladığımız şeyin genel yapısını belirleyen ana etmen olduğu anlamına mı gelir? (Bellek örneğin

yaklaşık olarak geçmişte yaşanmış olan duyum, olay ve nesneleri vb. anımsama yetisi olarak alınmak üzere.) Gibson algılarımızdaki yapının *başlıca* bellekten geldiği düşüncesini kabul etmez, gerçi hiç kuşkusuz anıların böyle algıları şekillendirmede açıkça *belli bir* etkileri olsa da. Ana sürecin birinin algıladığı şeye "uyumlanma/*attunement*" dediği şey olduğunu ileri sürer. Böylece, kişi tanıdık olmayan yeni birşey görünce ilkin bulanık olarak yalnızca bir kaç genel yapısal özelliği algılar. Sonra baktığı ile ilişki içinde devinirken ve belki de ayrıca onu yoklarken, yapının ayrıntılarından daha çoğunu soyutlamaya başlar, ve algıları keskinleşir. Belki de bu süreç bir tür beceriye benzetilebilir—bir beceri ki o da yalnızca kazanılmasını sağlayan tüm adımların belleği üzerine dayanmaz.

Hem algı durumunda hem de bir beceri geliştirme durumunda kişi çevresini etkin olarak öyle bir yolda karşısına almalıdır ki, dışa giden sinir dürtülerini içe gidenler ile eşgüdümlü kılmalıdır. Bir sonuç olarak çevresinin yapısı bir bakıma aşamalı olarak dışa giden dürtülerine katılır ve böylece çevresine doğru türde bir karşılığı nasıl vereceğini öğrenir. Bir beceriyi öğrenmeye gelince, bunun nasıl olduğu açıktır. Ama bir anlamda her tür şeyin algısı da bir beceridir, çünkü bir kişinin çevreyi etkin olarak o çevrenin yapısının ortaya serilmesi için uygun olan devinimler ile karşılamasını gerektirir. (Bu olgu da eğer algının salt edilgin bir sorun olduğu biçimindeki alışkısal kanımız olmasaydı açık olurdu.)

Eğer şeylerin yapısını kendimizi "uyumlama" yoluyla öğreniyorsak, evrenin yapısını ayrımsama yeteneğimizin çok genel özelliklerinin birçok durumda geriye erken çocuklukta öğrenilmiş olan şeylere gidecek olması açık görünür. Burada algı sürecinin incelemeleri Piaget'nin önceki kesimde tartışılan çalışması ile bağlanabilir. Çünkü orada bebeğin nasıl sınırlı bir doğuştan tepkeler kümesi ile başladığını gördük. Bunlar "döngüsel tepkeler"e geliştiğinde, bebek algının en temel özelliğini, e.d. dışa ve içe giden sinir dürtüleri arasındaki bir ilişkiye, algılanacak olan şeyin karakteristiği olan ilişkiye duyarlı olma yeteneğini kazanmıştır. Bundan sonra böyle ilişkilerden genel yapısında değişimsiz olanı soyutlayarak kendini adım adım çevresine "uyumlama" yeteneğindedir. Bunu yapmakla uzay, zaman, nedensellik kavramlarını, evrenin kalıcı nesnelere (ki bunlardan biri kendisidir) bölünmesini, kalıcı töz kavramını, nesnelerin kalıcı sayılarını vb. oluşturur. Tüm bu kavramlar ayrımsadığımız "iç görünüş"te görünen şeyin yapısını şekillendirmeye yardım etmeleri anlamında algı dokusuna örülüdür. Böylece yeni birşey ile karşılaştığımız zaman kendimizi yeni yapı türlerine "uyumlama" yeteneğinde olmamıza karşın, öyle görünür ki yukarıda betimlenen türde belli genel yapısal özellikler vardır ki, ilkin çocuklukta öğrenilmişlerdir ve algıladığımız herşeyde bulunurlar.

Bütünsel algı sürecinin toplam ya da genel yapısı yalnızca bebeklikten gelişiminin bakış açısından görülebilmekle kalmaz, ama ayrıca doğrudan doğruya yetişkinde de araştırılabilir. Böyle incelemeler Hebb ve

yardımcıları[23] tarafından bireylerin algılanacak çok az şey kapsayan ya da hiçbirşey kapsamayan çevrelerde yalıtılması yoluyla yapılmıştır. Böyle aşırı yalıtılma durumları insanların görecek ya da işitecek hiçbirşeyin olmaması ve ellerin hiçbirşeye dokunmamak üzere örtülmesi koşuluyla rahat bir sıcaklıktaki su tanklarına koyulmalarını da kapsıyordu. Böyle bir işleme gönüllü olacak denli dayanıklı bireyler bir süre sonra algı alanının değişmeye başladığını buldular. Sanrılar ve kendiliğinden doğan başka algılar, ayrıca zamanın ayrımsanmasında çarpıklıklar giderek sıklaşmaya başladı. Sonunda, yalıtılmışlıktan çıkarıldıklarında bu insanların yalnızca duygularında değil aına algılama yeteneklerinde de dikkate değer bir düzeyde genel yönelim bozukluğuna uğradıkları bulundu. Örneğin sık sık nesnelerin şekillerini açıkça göremedikleri, giderek biçimlerini bile değişmez olarak göremedikleri anlaşıldı. Gerçekte öyle birşey olmazken renklerin değiştiğini gördüler, vb. vb. (Zamanla normal algı hiç kuşkusuz yeniden kazanıldı.)

Bu deneylerin sonuçlarını ayrıntıda anlamak oldukça güçtü, ama bir bütün olarak imlemleri erken çocukluktan başlayarak beyinde yerleşen "uyumlanmalar" üzerinde işleyeccekleri uygun yapılı çevre olmadığında dağılına eğiliminde idiler. Eğer bu uyumlanmaları tipik çevremizi karşılamada gereksinilen belli beceri türlerine benzetirsek, o zaman belki de kullanılmadıkları zaman bozulmaları bütünüyle beklenmedik birşey değildir. Ama daha da şaşırtıcı olan şey bir yaşam boyunca kazanılan böyle "becerilerin" bozulmasının aşırı ölçüde yüksek hızıdır. Bunu açıklama amacıyla beyin için üzerinde işlemde bulunacağı bir dışsal çevre olmadığında içsel çevre üzerinde, e.d. sinir dizgesinin kendisinde kendiliğinden üretilen dürtüler üzerinde çalışmaya başladığı görüşü önerildi. Ama bu dürtüler edimsel olarak bizim için anlaşılır olan iyi tanımlı birer yapı taşıyor görünmez. Böylece ya varolmayan ya da edimsel olarak deneyi yapan insanlar için anlaşılmaz olan bir yapıya "uyumlanmak" için etkin çabada bir yaşam süresi boyunca kurulan eski ayarlar karışır ve bozulur.

Yukarıdaki önsav insanları uzun bir süre boyunca değişen bir rasgele (yapılandırılmamış) benekler kalıbını gösteren bir televizyon ekranına baktırma deneyleri tarafından belli bir düzeye dek doğrulanmıştır. Algıda bir yönelim-bozukluğunun geliştiği bulundu ki, öznelerin yalıtılmasını kapsayan deneylerde görülene benziyordu. Böylece kendini genel çevresinde varolmayan ya da anlaşılmayan bir yapıya ayarlama çabasında, beynin insanların genellikle içinde yaşadıkları normal çevre için uygun olan eski yapısal "uyumlanması"nın bozulmaya başladığı ileri sürülebildi.

Bu deneylerin imlemleri oldukça rahatsız edici olacak denli uzak erimlidir. Gene de, bütününde görülebilir ki, daha önce Piaget'nin

[23]Bkz. R. Held ve S. J. Freedmon tarafından yapılan araştırma, *Science*, **142**, 455 (1963); ayrıca Symposium on Sensory Deprivation, *The Journal of Nervous and Mental Diseases*, No. 1, January 1961.

çalışmasında ve bu kesimde özetlenen sonuçlarda imlenen şeyleri daha ileri götürme eğilimindedirler. Çünkü tüm bunlarda gördük ki algıda bir devim üreten bir dışa giden sinir dürtüsü bulunur ve buna karşılık olarak eşgüdümlü bir içe giden duyumlar kümesi vardır. Bu sinir dürtülerinde değişimsiz bir ilişkiyi soyutlama yeteneği 'entellektüel algı'nın [*intelligent perception*] temelinde yatan şey olarak görünür. Çünkü "iç görünüş"te bulunan yapı dışa giden devimlerin ve içe giden duyumların ilişkisinde değişimsiz olanı açıklama gereksinimi tarafından belirlenir. Bu yolda, algılayan özne yalnızca her zaman çevresini öğrenmekle kalmaz ama ayrıca *kendini değiştirir.* Başka bir deyişle, çevresinin genel yapısının belli bir yansıması kişinin sinir dizgesi içerisine yapılanır. Genel çevresi böylece daha şimdiden sinir dizgesi içerisinde kurulan şeyden yapı açısından çok ayrı olmadığı sürece, çevrenin yeni özelliklerine "uyumlanma" yoluyla ayarlamalar yapabilir. Ama böyle algılanabilir bir yapıdan yoksun bir çevrede, öyle görünür ki ya varolmayan ya da eğer varsa algılayan öznenin kavrama yeteneğinin ötesinde olan özellikler taşıyan bir yapı için arayışta bu ayarlamanın yitmesi yönünde bir eğilim vardır.

Bu sonuçlar bizi geriye ilk kez Kant tarafından formüle edilen eski soruya, evreni uzayda ve zamanda ve nedensel ilişkiler yoluyla vb. düzenli ve yapılı olarak genel ayrımsama kipimizin nesnel olarak evrenin doğasına mı özünlü olduğu, yoksa bizim kendi anlıklarımız tarafından mı *dayatıldığı* sorusuna götürür. Kant bu genel ilkelerin anlığa özünlü bir tür *a priori* bilgi oluşturduğunu ve bunun ne olursa olsun herhangi bir anlaşılabilir deneyim için zorunlu bir önkoşul olduğunu, ama "kendilerinde şeyler"in bir özellikleri olmayabileceğini önerdi.

Öyle görünür ki Kant'ın önerisi belli bakımlardan doğru, ama sorunu çok fazla dar bir çerçevede irdelemesinde temel olarak yanlıştı. Verili herhangi bir kıpıda yeni deneyimi beyinde tikel bir yapısal "ayarlama" ile karşıladığımız ve bunun dünyanın anlaşılabilir yanlarının algısı için zorunlu bir koşul olduğu hiç kuşkusuz doğrudur. Bu "uyumlanma" her bir kıpıda şeylerin uzayda örgütlü, nedensel olarak ilişkili, yalın olarak düzenli bir zaman dizisinde değişmekte olan vb. az çok değişmez bir kümesini görme yeteneğimizden sorumludur. Algıdan uzun süreli bir yalıtılma yoluyla ya da görülebilir yapısı olmayan bir çevrenin algısı yoluyla bu "uyumlanma" bozulunca, o zaman yukarıda değinilen deneyler gerçekten de bir çevrenin saptanabilir deneyimlenme sürecine ciddi bir karışma olduğunu gösterir.

Öte yandan, bu problem üzerine daha geniş bir görüş yetişkinin evrenin genel yapısına uyumlanmasının bebeklik ile başlayan bir gelişimde kurulduğunu gösterir. Bu gelişimin başlangıcında çocuk çevresinin yapısını uzun bir süreçte *keşfetmelidir.* Bu süreçte onunla *deneyler yapar,* üzerinde işlemler uygular vb. Bunu yapma yordamı belki de temelde bilimsel araştırmada kullanılandan ayrı değildir. Çevresi ile *ilgilenir,* onu yoklar, sınar, gözler vb., ve bir bakıma her zaman "iç görünüş"te dene-

yimlerini daha iyi açıklayan yeni algısal "önsavlar" geliştirir. Böyle yaparak, kendini çevresine "uyumlu kılar," yapısını yeterli olarak algılamak üzere doğru karşılıklar geliştirir. Büyüdükçe bu bütün süreç alışkanlık alanına düşmeye başlar. Ama ne zaman tuhaf ve beklenmedik birşey ile karşılaşsa, erken çocukluğunun özelliği olan ilgi çekici deney ve gözlem türünün bir sürdürülmesi yoluyla yeni yapısal özellikleri soyutlayabilir.

Hiç kuşkusuz, kişi tüm deneyimin uzay, zaman, nedensellik, vb. terimlerinde örgütlenmesi gibi *çok genel* yapısal özellikleri değiştirmeyi güç bulur. Gene de yukarıda değinilen deneyler herhangi bir tikel yapıyı sürdürmek için hiçbir özünlü gereksinim olmadığını, ve geçerli bir deney, yoklama vb. türüne götüren uygun ilgi bulundukça beynin büyük olasılıkla çevrenin kişinin duyuları karşısında edimsel olarak bulunabilen türde yapısal özelliklerinin çok geniş bir alanını soyutlamaya yetenekli olduğunu düşündürür. Herhangi bir verili kıpıda daha şimdiden bildiğimiz yapı geçmiş deneyimler, alışkanlıklar vb. üzerine dayanır; bu kendi payına bir yandan insanların edimsel olarak içinde yaşadıkları genel çevre tarafından, ve öte yandan insanların hangi yapısal özelliklere büyük bir dikkat yönelteceklerini belirleyen ilgiler tarafından belirlenir. Böylece gerçekte yeni deneylere, Kant'ın ileri sürdüğü gibi, daha şimdiden verili olan belli bir türde genel yapısal ilkeler ile yaklaşırız. Gene de, burada sözleri edilen deneyler Kant'ın bu türden herhangi bir tikel ilkeler kümesini insan anlığının doğasının kendisinden *kaçınılmaz olarak a priori* doğuyor olarak görmede haksız olduğunu düşündürür. Tersine, Gibson tarafından ileri sürülen çizgiler boyunca, öyle görünür ki bir kimse çevresinin sinir dizgesinin karşılık verebileceği ve kendisinin yeterince ilgi duyduğu her yapısal özelliğine "uyumlanabilir."

Yukarıda betimlenen kavramların terimlerinde görebiliriz ki algılarımızın her bir kişinin tikel arkatasarına ve koşullanması üzerine bağımlı ve ayrıca bütün insanlığın genel arkatasarına ve koşullanmasına bağımlı öznel bir yanları varken, bir de bu tikel ve sınırlı arkatasarın ötesine gidebilen bir tür nesnel içeriği vardır. Çünkü algılarımızın (bu arkatasardan sonuçlanan) *genel* yapısı bir tür *önsav* olarak görülebilir ki, onun yardımıyla daha sonraki deneyimlere yaklaşırız ve bunlarda şeyler kendi başlarına değil ama ayrıca kendi devimlerimiz, eylemlerimiz ve yoklamalarımız nedeniyle de değişmiştir, ve bu sonuncular çevrelerimiz ile kendi ilişkilerimizi değiştirir. Yeni deneyimlerin çelişkiler olmaksızın eski yapının sürdürülmesine uydukları düzeye dek, bu önsavlar etkili olarak doğrulanır. Ama eğer tetikte isek, doğurdukları çelişkileri duyumsayacağız (önceden tartışılan sayısız örnekte daha şimdiden gördüğümüz gibi). Bu olduğu zaman, beyin "iç görünüş"te yeni yapıların ortaya çıkmasında anlatım bulan daha öte önsavlara kendiliğinden götüren yeni ilişkilerin keşfine duyarlıdır. Bilmediği uzak bir nesneye yaklaşmakta olan, ya da örneğin ayın loş aydınlığında bilinmeyen birşeye yaklaşmakta olan herkes bunun olduğunu görebilir. Çeşitli biçimler, şekiller, nesneler vb. görecektir ki, görünürler ve sonra yiterler, çünkü

devimlerinden, yoklamalarından vb. sonuçlanan daha öte deneyimler ile bağdaşabilir değildirler. Böylece sürekli bir "yanılma-sınama" süreci vardır ki, bunda yanlış olarak bilinen sürekli olarak bir yana atılır, ve bu arada "eleştiri" için sürekli olarak yeni yapılar ortaya koyulur. Sonunda bu yolda bir algı gelişir ki daha öte devimlere, yoklamalara vb. dayanır, çünkü tahminlerinin sonuçları böyle deneylerde edimsel olarak doğrulanır. (Hiç kuşkusuz, bu bile daha sonra çürütülebilecek olması anlamında her zaman geçicidir.)

Algılarımızın nesnel içeriği o zaman yukarıda betimlenen yanlışlama ve doğrulama sürecine özünlüdür. Gerçekten de, dünyayı görüşümüzün daha öte devim, gözlem, yoklama vb.nin sonucu olarak yanlışlanabilecek olması olgusunun kendisi dünyada algıladıklarımızdan ve bildiklerimizden daha çoğunun olduğunu imler. Başka bir deyişle, dünyayı edimsel olarak yaratmayız. Gerçekte, devimlerimize ve duyumlarımıza karşılık olarak dünyanın yalnızca bir "iç görünüş"ünü yaratırız. Bununla birlikte, onda yalnızca geçmiş deneyimlerin bir özetinden daha çoğunun olduğunu tanıtlayan şey "iç görünüş"ün doğrulanması olanağıdır. Çünkü bu "iç görünüş" bu geçmiş deneyimlerin *genel yapısının* soyutlanması üzerine dayanır, ve yapı daha sonraki deneyler için tahmin edici çıkarsamalar taşır. Örneğin, bir ev gibi bir nesnenin önüne yaklaşırken (büyük ölçüde bilinçsiz olarak) nesnenin henüz görülebilir olmayan parçalarının çok büyük bir sayıda yapısal özelliğini tahmin ederiz. Böylece, evin çatısının parçalarının yanısıra önünün ve tek bir yanının görülmesi üzerine başka yanlarının olduğunu, bunların belli koşut çizgilerinin, belli açılarının vb. olduğunu çıkarsarız. Daha önceden benzer evlerin çevresinde dolaşılmış olduğundan, bu çıkarsamalar *bölümsel olarak* bellekten gelebilir. Gene de büyük ölçüde daha önceki deneyimlerin kendilerinin yalın bir anımsanışından değil, ama böyle deneyimlerin çok geniş bir eriminden soyutlanmış olan genel yapısal ilkelerden gelirler (örneğin uzayın üç boyutluluğu, doğru çizgilerin, koşut çizgilerin ve dik açıların varoluşu, ki tümü de birlikte bir nesnenin görünmeyen yanları için belli bir genel olanaklar alanını imler ve bu benzer nesnelerin bizde olabilecek tikel bellek anılarından bağımsızdır).

Üzerine biraz düşünürsek görürüz ki, yukarıda betimlenen türde ve algılarımızın genel yapısı üzerine dayalı olan tahmin edici çıkarsamaların doğru çıktığı çok büyük bir sayıda durum vardır. Başka bir deyişle, dolaysız algıda gördüğümüz "dünya"nın verili bir kıpıda genel bir yapısı vardır ki, söz konusu kıpıya götürmüş olan gözlemlerde uzun bir sınamalar dizisine karşın ayakta kalmıştır. Ve bir kural olarak yer alan şey bu yapının gözlemcinin ve algı alanında olanların bilinen devim durumları ile uyum içindeki doğal izdüşümünün pek çok bakımdan daha sonraki gözlemler ile az ya da çok bağdaşmayı sürdürecek olmasıdır. Bu demektir ki algılarımızın genel yapısının edimsel olarak çevremizde olan şeylerin genel yapısı ile belli bir benzerliği vardır. Gene de, algı alanında "kurulan" şeyde sürekli değişimleri zorunlu kılan ve yalnızca

daha önce algılanmış olandan doğal izdüşümün sonucu olmayan çelişkilerin, beklenmedik olayların vb. görünüşü tarafından kanıtlandığı gibi, benzerlik eksiksiz değildir. Bu yolda sürekli olarak daha önceki algılarımızda örtük olarak bile kapsanmayan şeyler ile karşı karşıya kalırız, ve böylece bize daha önce algıladıklarımızın ötesinde olan bir olgusallığın bulunduğu anımsatılır—bir olgusallık ki, her zaman daha öte algılarımızda ortaya serilme sürecinde olan yanları vardır.

A—4. ALGI SÜRECİ VE BİLİMİN EVRENİ ARAŞTIRMA SÜRECİ ARASINDAKİ BENZERLİK

Bu Ek bölümünün önceki kesimlerinde bebeklikten başlamak üzere bir insanda algı sürecinin gelişimi üzerine incelemeleri ve bir de bu sürecin yetişkinlerde nasıl yer aldığı üzerine doğrudan incelemeleri tartıştık. Bu incelemelerden çıkan şey şu bildirimde toparlanabilir: Algı sürecinde dünya üzerine başlıca bir yanda kendi devimlerimiz, etkinliklerimiz, yoklamalarımız, vb. ve öte yanda duyu örgenlerimiz yoluyla gelen şeylerde ortaya çıkan değişimler arasındaki ilişkilerde değişimsiz olana karşı duyarlı olma yoluyla öğreniriz. Bu değişimsiz ilişkiler o zaman bir "iç görünüş"te yer alan bir tür "kurulum/*construction*" olarak ayrımsama yetimizde dolaysızca sunulur, ve bu sonunda söz konusu kıpıya dek süren böyle deneyimlerde bulunan değişimsiz özellikleri açıklayan bir önsava anlatım verir. Bununla birlikte, bu önsav eğer sonraki devimlerimizde, yoklamalarımızda vb. "kurulumlarımızın" imlemleri ile çelişkilerin bulunduğunu görürsek bir başkası ile değiştirilecek olması anlamında geçicidir.

Bununla birlikte, bu kitap boyunca gördük ki fizikte araştırma algının yukarıda betimlenen özelliklerine çok benzer temel özellikler göstermiş, ve fiziğin daha modern biçimlere doğru daha öte gelişimi ile (özellikle görelilik kuramı ile), bu benzerlik daha güçlü olma eğilimine girmiştir. Böylece Newton mekaniğinin en sonunda doğru çıkan yanları geniş bir dizgeler, devimler, gönderme çatılarının değişimleri vb. türlülüğü içinde belli ilişkilerin değişimsizliklerinin (Newton'ın devim yasaları) keşfinden oluşuyordu. Öte yandan, kuramın saltıkları (örneğin saltık uzay, saltık zaman, değişmez kütleleri olan kalıcı tözler kavramı, vb.) temsil ediyor görünen özellikleri sonunda devim yasalarının bilimsel bilgisini daha geniş alanlara yayma çabasında gereksiz olarak, aslında önemli karışıklık ve yanılgı kaynakları olarak gösterildi. Einstein'ın önemli adımları bir saltığa bağlı böyle düşünceleri bir yana bırakma ve değişimsiz ilişkiler olarak fizik yasaları kavramını daha geniş alanlara yayma (örneğin ışığın hızı ile karşılaştırılabilir hızları kapsamak üzere) üzerine dayanıyordu. Bunu yaparken değişmez kütleleri olan tözlerin değişmez nicelikleri kavramını da düşmeye götürüldü. Bunun yerine, kütle bir cismin yerçekimi özelliklerinin yanısıra, enerjisi ve ivmeye

karşı süredurumunun direnci arasındaki bir ilişkiyi anlatmak üzere salt göreli olarak değişimsiz bir özellik olarak görüldü. Quantum kuramını ve "öğesel" denilen parçacıkların dönüşümleri (Bölüm 23'te tartışıldığı gibi) üzerine incelemeleri de kapsamak üzere, modern fizikte daha öte gelişmeler değişmeyen nitel ve nicel özellikli tözlerden oluşan kalıcı kendilikler kavramının bütünüyle düşülmesinin gerekli olabileceğini, ve fiziğe olanaklı olduğu ölçüde geniş bir devimler, koordinat dönüşümleri, perspektif değişimleri vb. türlülüğü içinde göreli olarak değişimsiz olanın incelemesinden başka hiçbirşeyin kalmayacağını düşündürür.

Dahası (Bölüm 24'e gördüğümüz gibi), öyle görünür ki bilimin doğaya ilişkin saltık gerçeklikler toplamakta olduğu, ya da giderek birleştirici bir tarzda böyle gerçekliklere yaklaşmakta olduğu anlayışı şimdiye dek bilimsel kuramların edimsel gelişimini ilgilendiren olgular ile iyi bir uyum içinde değildir, ve aslında bilimsel araştırmada önemli bir karışıklık kaynağı bile olmuştur. Dahaçok, Profesör Popper'ın vurguladığı gibi, edimsel olarak bilim yanlışlanabilir önsavların ortaya koyulması yoluyla ilerler ki, bunlar belli bir noktaya dek doğrulanır ve ardından, bir kural olarak, sonunda yanlışlanır. Sonra yeni önsavlar ortaya koyulur ve bunlar dolaysız algılarımızın sürekli olarak uğradığı süreçlere çok benzer olan bir "yanılma-sınama" süreci yoluyla sınanır.

Modern bilimde gelişmiş olanların ve algı sürecinin modern incelemelerinde ortaya çıkarılmış olanların eşzamanlı bir irdelenişinden çıkan ilginç nokta her ikisini de anlamak için gereken yeni düşüncelerin oldukça benzer olduğudur. Bu kesimde bu benzerliğin ilineksel olmadığı ama dahaçok arkasında derin bir neden taşıdığı düşüncesinden yana kimi uslamlamalar vereceğiz. Önerdiğimiz neden bilimsel araştırmanın temel olarak dünyaya ilişkin *algımızı* genişletmenin bir kipi olduğu, başlıca ona ilişkin bilgi edinmenin bir kipi olmadığıdır. Başka bir deyişle, bilim bilgi için bir arayışı içerirken, bu bilginin özsel rolü genişlemiş bir algı sürecine bir eklenti [*adjunct*] olmaktır. Ve eğer bilgi temel olarak böyle bir algı kipi ise, o zaman, göstermeye çalışacağımız gibi, bilimsel araştırmanın belli özsel özelliklerinin dolaysız algının karşılık düşen özelliklerine oldukça benzer olmaları bütünüyle usayatkındır.[24]

Bilim bu düzeye dek genellikle *temelde* bilgi için bir arayış olarak görüldüğü için, bilgi ve dolaysız algı arasındaki soruya daha derinlemesine girerek başlamak zorunlu olacaktır. Şimdi, gördüğümüz gibi, dolaysız algıda görünen şey daha şimdiden çevreyi yoklama ile ilgili olan ve söz konusu algıya dek götüren erken bir etkin süreçte değişimsiz olduğu bulunan şeyin genel yapısının bir tür soyutlamasına anlatım verir. Bilginin dolaysız algıyı içeren geniş bir deneyimler eriminde değişimsiz olarak bulunan şey üzerine dayalı bir *yüksek-düzey soyutlama* olduğunu öneriyoruz.

[24]Bilimsel araştırma ve algı arasındaki benzerlik daha önce çeşitli yazarlar tarafından belirtilmiştir. Bkz. N. H. Hanson, *Patterns of Discovery,* Cambridge University Press, New York, 1958, ve T. Kuhn, *The Nature of Scientific Revolutions,* University of Chicago Press, Chicago 1963.

Belki de bu kavramı açıklamanın en doğrudan yolu ilkin (Kesim A-2'e tartışıldığı gibi) Piaget'nin çocuğun uzay kavramının gelişimi üzerine gözlemlerine başvurmaktır. İlkin çocuk bir küme işlemi keşfeder, örneğin bir yerden bir başkasına belli bir yolu izleyerek gidebileceğini, ve daha değişik yolların geniş bir erimi yoluyla değişimsiz olarak aynı yere geri dönebileceğini bulur. Daha sonra çocuk bundan böyle dolaysız algı alanında olmayan nesneleri bile kapsayan bir uzayı *imgelemeyi* (e.d. ansal bir imge üretmeyi) başarabilir, ve ayrıca *kendisine* karşılık düşen bir imgesel nesneyi de üretebilir. Bu ansal imgenin yapısı çocuk tarafından devim kümeleri ile daha erken deneyimlerinde değişimsiz olarak bulunan şeye tam olarak karşılık düşer. Bu ansal imge öyleyse bir tür "daha yüksek-düzey değişimsizi," e.d. geniş bir dolaysız algılar eriminde değişmez olmuş olan birşeyi *soyutlar.*

"Soyutlamak" sözcüğünü kullandığımız zaman yalnızca bir tümevarım sürecinin, ya da daha önce deneyimi edinilmiş olan şeylerin bir tür özetini çıkarma sürecinin bulunduğunu ileri sürmeyi istemiyoruz. Tersine, her bir soyutlama bir bakıma böyle daha erken deneyimlerde değişimsiz olarak bulunmuş olanı açıklamak için ortaya koyulan bir tür "önsav" oluşturur. Yalnızca daha öte sınamalara ve yoklamalara dayanan soyutlamalar elde tutulacaktır. Bununla birlikte, en sonunda bunlar alışkısal olur, ve temelde varsayımsal ve geçici doğalarını ayrımsamaya son vererek bunun yerine onları deneyim ve araştırmanın olanaklı her alanında varolan herşeyin özünlü ve zorunlu özellikleri olarak görmeye başlarız.

Piaget sonra dilin ve mantıksal düşünmenin gelişimi ile çocuğun daha da yüksek-düzey soyutlamaları nasıl yaptığını betimlemeye geçer. Bu soyutlamalarda dünyanın çocuğun algılarında soyut olarak görülen değişimsiz özelliklerini anlatan sözcüklerin, düşüncelerin, kavramların yapıları oluşturulur. Açıkur ki ilkede bu soyutlama sürecinin hiçbir sınırı yoktur. Böylece bilim ve matematiğin gündelik dilin ve sağ-duyunun sıradan soyutlamalarının terimlerinde yerine getirilen deney ve gözlemlerde bulunan şeylerin sözcüklerde, çizgelerde ve matematiksel simgelerde formüle edilen değişimsiz özelliklerini anlatan daha da yüksek-düzey soyutlamalar oluşturduğu söylenebilir. Buna göre tüm bilgi bir soyutlamalar yapısıdır ki, geçerliğinin en son sınaması gene de dünya ile dolaysız algı düzleminde ilişkiye girme sürecinde yatar.

Görülebilir ki bir bütün olarak bu soyutlama sürecinde belirleyici bir durum "iç görünüş"te görünen şeylerin belli parçalarının dolaysız algıyı *doğrudan* temsil etmiyor olarak bir yana bırakılmasıdır. Bunlar *imgelediğimiz,* tasarladığımız, simgeselleştirdiğimiz, haklarında düşündüğümüz vb. şeylerdir. Bu parçalar o zaman dolaysız algı ile bu algının genel yapısal özelliklerini temsil eden soyutlamalar olarak ilişki içinde görülür, tıpkı bir haritanın haritası olduğu bölgeyi temsil etmesi gibi.[25]Bununla bir-

[25]Ayrıca bkz. fizikte Minkowski çizgesi için önerilen benzer bir rolü irdeleyen Bölüm 29.

likte, Kesim A–2'de belirtildiği gibi, küçük bir çocuk imgelenmiş olan ve dolaysız algıya verilen karşılıkta görülen arasında kolayca bir ayrım yapmaz. Bu yolda, soyut kavramsal "haritalarımızı" olgusallığın kendisi ile karıştırma, ve onların yalnızca haritalar olduğunu gözden kaçırma alışkanlığı doğar. Çocuk büyüyünce yüzeysel problemlerde bu karışıklıktan kaçınmayı başarabilir, ama uzay, zaman, nedensellik vb. gibi temel kavramlara gelince, bunu yapmak çok daha güçtür. Bir sonuç olarak, yetişkin bir bakıma göreli olarak soyut kavramsal haritalarına bakmak, ve onları daha alt düzeylerde değişimsiz olarak bulunmuş olan şeylere yalnızca bir tür yapısal benzerlik gösteren üst-düzey soyutlamalar olarak anlamak yerine, onları sanki şeylerin doğasına özünlü imiş gibi görme alışkanlığını sürdürür. Çok uzun bir zaman boyunca yerleşmiş alışkanlıklar üzerine dayalı bu karışıklık böyle temel problemlerin tartışmasını böylesine güçleştiren şeydir.

Belki de bu kavramları açıklamanın en iyi yolu yalın bir örneğin yardımına başvurmaktır. Varsayalım ki dairesel bir diske bakıyoruz. Şimdi gözlerimize dolaysız görünüşü gözlerin retinası üzerindeki izdüşümüne karşılık düşen bir elips olacaktır (örneğin onu perspektifte çizmeye çalışan bir sanatçı tarafından çizileceği gibi). Gene de *biliriz* ki gerçekte bir dairedir. Bu bilginin temeli nedir?

Edimsel olarak yer alan şey, daha önce belirttiğimiz gibi, gözün, başın, bedenin vb. her zaman devinmekte olmasıdır. Bu devimlerde diskin görünüşü her zaman değişmekte, gerçekte belirli bir yolda söz konusu devimler ile ilişkili olan bir dizi *izdüşümsel dönüşüme* uğramaktadır. Çeşitli yollarla (ki bunların bir bölümü Kesim A–3'te tartışılmaktadır) beyin tüm bu devimde, perspektif değişiminde vb. değişimsiz olanı soyutlamayı başarabilir. Dairesel bir nesnenin onun tüm değişen görünüşlerini açıkladığı düşüncesinin terimlerinde anlatılan bu soyutlama "iç görünüş"te algıladığımız şeylerin "kurulum"unun (*construction*) temelidir. Bu nesnenin gerçekte bir daire olduğu "önsavı" daha sonra onunla algısal olarak ilişkiye girmenin sonraki yollarında daha öte yoklanır ve sınanır, ve böyle yoklama ve sınama karşısında ayakta kaldığı sürece kabul edilir.

Ama algılanan nesnenin bir daire olduğunun anlaşılması ayrıca dolaysız algı düzleminin ötesine giden bilgiye de bağımlıdır. Böylece küçük çocukluk döneminden başlayarak bir kimse nesneye dikey bir yönde düz olarak bakmayı, onun dairesel şeklini görmeyi (ayrıca elleri onu kavradığı zaman dairesel olduğunu duyumsamayı) *imgelemeyi* öğrenmiştir. Ayrıca kendisini bir çizge üzerinde bir nokta biçiminde temsil ediliyor olarak imgelemeyi, ışık ışınlarının daireden kendi perspektif noktasına doğru yollarını izlemeyi de öğrenmiş olabilir, ve böylece dairesel şeklin eliptik bir görüngüye nasıl dönüştüğünü anlamayı başarabilir. Eğer daha ileri eğitim görmüşse, diskin doğru şeklini matematiksel olarak hesaplayarak, onun çeşitli görme yollarındaki görüngülerinin bir bilgisinden ve tüm bu görme yollarında gözlemcinin disk ile ilişki-

lerinden (uzaklık vb.) çıkarak daha da yüksek bir soyutlama düzeyine geçebilir. Bu hesaplamayı yerine getirirken, beyninin daha alt bir düzlemde kendiliğinden yaptığını daha yüksek bir soyutlama düzleminde bilinçli olarak yapacak, e.d. tartışma altındaki nesne ile değişmekte olan ilişkilerimizde değişimsiz olanı açıklayan tek bir yapı bulacaktır.

O zaman görürüz ki dolaysız algının soyutlamaları ile bilgimizi oluşturan soyutlamalar arasında hiçbir *keskin* kopuş yoktur, üstelik bu bilgimizi bilim ve matematik tarafından ulaşılan en yüksek düzlemlere taşısak bile. Daha en başından, dolaysız algılarımız bir "iç görünüş"teki bir "kurulum"u anlatır ki, çevremizde değişimsiz olanın önbilinçli bir soyutlaması ya da çevremiz ile etkin bir ilişki içine girme süreci üzerine dayanır. Her bir yüksek soyutlama düzlemi daha aşağı soyutlama düzlemlerinde değişimsiz olanın benzer bir keşfediliş sürecini yineler ki, bu değişimsiz şey daha sonra bir resim, bir imge, sözcüklerin ve formüllerin bir simgesel yapısı biçiminde anlatılır. Bu üst-düzey soyutlamalar sonradan daha alt düzeylerde olanların, giderek dolaysız algı düzlemine dek inenlerin genel yapısını şekillendirmeye katkıda bulunur. Böylece tüm soyutlama düzlemleri arasında sürekli bir iki-yollu etkileşim vardır.

Örneğin gece gökyüzüne bakma deneyimini irdeleyelim. Eski insanlar yıldızlardan hayvanların, insanların ve tanrıların şekillerini soyutladılar, ve bunun üzerine gökyüzüne onda böyle kendilikler görmeksizin bakamaz oldular. Modern insan gerçekte bu görüşün arkasında yatan şeyin ölçülemez bir yıldızlar, galaksiler, galaksi galaksileri vb. evreni olduğunu, ve her insanın, bu evrende tikel bir yeri olduğu için onun üzerinde belli bir perspektif kazandığını ve bunun gece gökyüzünde görünen şey olduğunu bilir. Böyle bir insan gökyüzünde hayvanlar, tanrılar vb. değil ama engin bir evren görür. Ama modern bilimin görüşü bile büyük olasılıkla ancak belli bir alanda doğrudur. Böylece geleceğin insanı gece gökyüzünü görüşümüzün arkasında olan değişimsiz bütünlüğün çok değişik bir kavramını oluşturabilir ki, bunda şimdiki kavramlar belki de bir yalınlaşturma, yaklaşıklık, ve sınırlayıcı durum olarak görülecek, ama edimsel olarak bütünüyle doğru olmaktan çok uzak olacaktır. O zaman her aşamada insan gece gökyüzünü algılayışını genişletmekte, bir soyutlama düzleminden bir başkasına geçmekte, ve her bir aşamada böylece değişimsiz olanın daha öte sınamalara, yoklamalara vb. daha iyi dayanabilen önsavlarına götürülmektedir diyemez miyiz? Ama eğer durum buysa, o zaman en soyut ve en genel bilimsel araştırmalar küçük çocuğun çevresi ile algı ilişkisine girmeyi öğrenmesini sağlayan aynı süreçlerin kendilerinin doğal uzantılarıdır.

Çeşitli vesileler ile belirttiğimiz gibi (örneğin Kesim A–2'de Piaget'nin çalışmasının ve Kesim A–3'te devimin algısının tartışmasında), her algı ediminde çözülmesi gereken temel problemlerden biri gözlemcinin özel bakış açısını ve perspektifini dikkate alma problemidir. Bu problemin çözümü özsel olarak tümü de birbiri ile ilgili bir dizi soyutlama düzleminin kullanılmasına bağlıdır. Böylece bir kimse yalnızca önünde-

ki diskin dolaysız eliptik görüngüsünü algılamakla kalmaz. Ayrıca diskin görüngüsünde kendisinin etkin olarak yerine getirdiği belli devimlerden kaynaklanan değişimleri de algılayabilir. Bu değişimlerden beyni disk ile ilişkisi hakkında bilgi soyutlayabilir (örneğin ne kadar uzak olduğu gibi). Buradaki özsel nokta tümü de anlıkta eszamanlı olarak işleyen birçok soyutlama düzlemi yoluyla, ilginin yöneldiği nesnenin yalnızca bir izdüşümünü değil ama gözlemcinin söz konusu nesne ile ilişkisini de algılamanın olanaklı olmasıdır. Bundan edimsel olarak neyin yer almakta olduğu konusunda değişimsiz bir kavram elde etmek ilkede her zaman olanaklıdır. Bu daha yüksek bir soyutlama düzleminde temsil edilir, örneğin uzayın diski ve gözlemcinin kendisini asıl ilişkileri içinde temsil edilmek üzere kapsadığı *imgelenerek*. Bir kimse nesnenin *gerçekten* dairesel olduğunu söylediği zaman, açıktır ki nesnenin şeklinin dolaysız bir duyumuna değil ama bu uzamlı soyutlama sürecine göndermede bulunmaktadır ki, bunun özsel sonuçları hem nesneyi hem de kendisini kapsayan bu imgesel uzayda temsil edilir.

Bilimde çok benzer bir problem doğar. Burada, gözlemcinin elleri, bedeni ve duyu örgenleri genel olarak gerçekte uygun aletler aracılığıyla genişletilir ki bunlar *belli yollarda* daha duyarlı, daha güçlü, daha sağım, ve ayrıca evren ile ilişki kurmanın yeni kiplerine yeteneklidir. Ama gözlemcinin çevresini *etkin olarak* yoklaması ve sınaması olan özsel noktada, durum böyle aletlerin yardımını almayan dolaysız algıda olana çok benzerdir.

Böyle sınamalarda her zaman bu yoklama ve sınamaya belli bir gözlenebilir karşılık vardır; ve gözlemlenen şeyde ilgili bilgiyi oluşturan şey bu karşılıktaki değişimlerin aletlerin durumundaki bilinen değişmeler ile ilişkisidir (tıpkı duyu örgenlerinin kendileri durumunda olduğu gibi).

Bununla birlikte, dolaysız algı durumunda böyle bir gözlemin aletin gözlem altındaki alan ile ilişkisi bilininceye dek çok az önemi vardır. Bu ilişkiyi bir dizi soyutlamanın yardımıyla bilmek olanaklıdır. Böylece herhangi bir deneyde yalnızca gözlemlenen sonuç bilinmekle kalmaz; aletin yapısı, işlev görme kipi vb. de bilinir ki, bunların tümü daha önceki gözlemlerin ve birçok türden eylemin yardımıyla ortaya çıkarılmıştır. Başka bir deyişle, her gözlem sürecinde her zaman örtük olarak gözlem aletinin kendisinin değişik kavramsal soyutlama düzlemlerinin terimlerinde yerine getirilen bir gözlemi bulunur. Ama gözlemi *anlamak* için her zaman problem üzerine belli düşünme kipleri gerekir ki, bunlarda alet ve gözlemlenen şey birlikte tasarlanır, öyle ki incelenmekte olanın değişimsiz bir alanını alet ile belli bir ilişki içinde duruyor olarak içeren "tam bir tablo" görülebilir, ve bu ilişki bir bakıma alanda olan şeyin aletin belli bir gözlemlenebilir karşılığına nasıl "yansıdığını" belirler.

Bölüm 29'da daha önce yukarıda tartışılan problemin özel bir durumuna dikkati çekmiştik. Böylece, görelilik kuramında ilkede uzay-zaman bütününde yer alan tüm olayları temsil edebilen Minkowski çizgesi

kullanılır. Bununla birlikte, böyle bir çizgenin her bir örneği sonuçları tartışma altında olan gözlemcinin evren çizgisine karşılık düşen bir çizgi kapsamalıdır. Bu genellikle çizgenin ekseni tarafından temsil edilir. O zaman, eğer bir başka gözlemcinin sonuçlarını tartışmayı istersek, çizgeye *onun* evren çizgisinin bir temsilini katmamız gerekir. Benzer bir yolda, verili bir gözlemin perspektifini belirleyen yer ve zamanı temsil etmek üzere bir nokta seçmemiz de gerekir. Tüm bunları dikkate alarak, gözlem aletlerinin karşılığından (ki hızlarına, işlev görme zaman ve yerlerine vb. *görelidir*) gözlemlenen şeyin değişimsiz özelliklerini hesaplayabiliriz, öyle bir yolda ki değişik gözlemcilerin değişik sonuçları araştırma altındaki süreç ile değişen *ilişkileri* yoluyla açıklanır. Görülebilir ki görelilik kuramı evrene bir kişinin dolaysız algıda çevresine yaklaşma yoluna çok benzer bir yolda yaklaşır. Bu her iki alanda da gözlemlenen herşey çeşitli bakış noktalarından, perspektiflerden, gönderme çatılarından vb. görüldüğü gibi çeşitli devimlerde değişimsiz olanın soyutlaması üzerine dayanır. Ve her ikisinde de değişimsiz olan şey sonunda gözlemlenmekte olanın düzen, şekil ve yapısına benzer düzen, şekil ve yapısı ile bir tür "harita" olarak hizmet eden daha yüksek soyutlama düzlemlerinin terimlerinde anlatılan çeşitli önsavların yardımıyla anlaşılır.

Böyle haritaları kullanma eğiliminin alışkısal karakter kazanması da bilimsel araştırmaya ve dolaysız algıya ortaktır. Bu olduğu zaman, bir kimsenin düşünmesi böyle haritalara uyabilen şeylere sınırlanır, çünkü bunların her deneyim koşulunda ve alanında yer alması olanaklı herşeyi kapsadığını düşünür. Örneğin, dolaysız algılarımızda eş-bulunuşlu olan herşeyin eşzamanlılığı biçimindeki sağ-duyu kavramı Newtoncu saltık zaman kavramına soyutlanır ve buna göre değişik yollarda ivmelenen ve sonra buluşan ikizlerin değişik zaman miktarları yaşamış olabilecekleri anlaşılmaz görünür (bkz. Bölüm 28). Ama Kesim A–3'te tek bir benzersiz zaman düzeni kavramının dolaysız algımızın alanında da karışıklık olmaksızın işliyor görünmediğini gördük. Bunun çok az göze çarpmasının başlıca nedeni büyük olasılıkla hem içeriye hem de dışarıya doğru yalnızca böyle bir benzersiz ve evrensel zaman düzeni içinde yer alan herşey üzerine alışkısal algımıza uyan şeyleri ciddiye alma alışkanlığımızdır.

Geçerken belirtilebilir ki quantum kuramında yukarıda betimlenen bakış açısı daha da ileri götürülür. Bunun nedeni temel olarak eylem nicesinin bölünemezliğidir ki, birşeyi atomik düzlemde çok sağın olarak gözlemlerken gözlemlenen dizge üzerinde zorunlu olarak böyle bir gözlem için gerekli olan nicelerin yol açtığı indirgenemez bir rahatsızlığın yer aldığının bulunduğunu imler (Heisenberg'in ünlü belirlenimsizlik ilkesinin türetilmesinin arkasındaki olgu). Büyük-ölçek düzlemde bu nicelerin etkileri gözardı edilebilir. Buna göre, gözlemci ne olursa olsun herhangi birşeyi algılayabilmek için etkin devimlere ve yoklamalara girişmek zorunda olsa da, ilkede (en azından büyük-ölçek optik algıda) bakmakta olduğu şeyi önemli ölçüde rahatsız etmekten

kaçınabilir. Bununla birlikte, nice sağınlık düzleminde durum böyle değildir. Burada, ışık niceleri kör bir insanın bir nesne hakkında ancak devinerek onu rahatsız ederlerse bilgi verebilen parmaklarına benzetilebilir. Kör gene de nesnenin belli değişimsiz özelliklerini soyutlayabilir (örneğin büyüklük ve şekil), ama bunu yaparken beyni kendiliğinden algı işlemlerinin nesneye yüklediği devimi *dikkate alır.* Benzer olarak, fizikçi henüz atomların, elektronların, protonların vb. belli değişimsiz özelliklerini soyutlayabilir (örneğin yük, kütle, dönü vb.); ama bunu yaparken benzer bir yolda kendi gözlem sürecinde içerilen *işlemleri* bilinçli olarak dikkate almalıdır. (Bu noktayı ayrıntıda tartışmak hiç kuşkusuz çalışmamızın alanının ötesindedir; ama bu sorular sonraki yayımlarda ele alınacaktır.)

A—5. BİLİMSEL ARAŞTIRMADA ALGININ ROLÜ

Önceki tartışmada evren üzerine dolaysız algı kiplerimiz ile modern bilimsel araştırmada ona yaklaşma kiplerimiz arasındaki yakın benzerliği gördük. Şimdi Kesim A–4'ün başlarında önerdiğimiz gibi doğrudan doğruya bilimsel araştırmanın özeksel olarak algısal karakterini irdelemeye geçeceğiz.

İnsanın bilimsel aletleri gördüğümüz gibi bedeninin ve duyu örgenlerinin etkili bir genişlemesini oluştursa da, algı sürecinin *içe doğru* yanının (ki deneyimlenmiş olan şeyin değişimsiz özellikleri bu süreçte "iç görünüş"te sunulur) yerini alabilecek karşılaştırılabilir *dışsal* yapılar yoktur. Böylece, önsavları ve gözlemlediği şeyler arasındaki çelişkilerden sakınmak, gözlemlediği şeylerdeki yeni ilişkilere duyarlı olmak, ve bilinen olguları açıklayan, bu yeni ilişkilere anlatım veren, ve henüz bilinmeyene ilişkin olarak daha öte deney ve gözlemlerde sınanabilecek ek imlemleri olan tahminler ya da önsavlar ortaya koymak *bilimcinin kendisine* kalır. Böylece her zaman en sonunda öyle bir aşama vardır ki orada bilimsel araştırmada *özsel olarak algısal bir sürece* gereksinim duyulur—bir süreç ki bilimcinin kendisinin içinde yer alır.

Bununla birlikte, algı aşamasının önemi genellikle yeterince vurgulanmaz, çünkü bilimciler dikkatlerini çoğunlukla bir dizi sınama karşısında dayanıklı çıkmış önsavları o sırada kabul edilen bilimsel bilgi kütlesinin içine katan sonraki evreye yöneltirler. Sonuçta böylece bilimcinin özsel etkinliğinin *doğrulanmış bilgi birikimi* olduğu ve bilimcinin tüm başka etkinliklerinin hedefinin en sonunda bu amaca yönelik olduğu sanısına götürülürler.

Eğer böyle bilgi bir saltık gerçeklikler kümesi oluşturabilirse, o zaman onun birikimini bilimin ana amacı olarak görmenin bir tür anlamı olacaktır. Bununla birlikte, gördüğümüz gibi, en sonunda yanlışlanmak tüm kuramların yazgısıdır, öyle ki tümü de belli alanlarda yeterli olan göreli gerçekliklerdir. Ancak daha şimdiden gözlemlenmiş olan alanda

ve henüz daha öte bilinmeyen ve hiç olmazsa belli bir düzeye dek gelecek deney ve gözlemlerde sınırlanabilecek olan alanda geçerlidirler. Ama eğer durum buysa, bilgi birikimi bilimsel araştırmanın *özsel* amacı olarak görülemez, çünkü tüm bilginin geçerliği bilginin kendisinde olmayan birşey ile görelidir. Böylece, eğer yerleşik ve iyi sınanmış bilimsel bilginin (zorunlu olarak eksik bilinen) geçerlik alanını tartışabileceksek, yerleşik ve iyi sınanmış bilimsel bilginin bile kendisi ile sürekli olarak daha öte ilişkilendirilmesi gereken şeyi dikkate almaksızın bilimsel araştırmanın gerçekte ne ile ilgilendiği görülemeyecektir.

Ayrıca dolaysız algıda kazandığımız bilginin de benzer bir göreli geçerliği vardır. Ama bu alanda bunun nedeni oldukça açıktır. Gerçekten de, evren öylesine engindir ve içerisinde öylesine çok bilinmeyen vardır ki, dolaysız algıdan öğrendiklerimizin bir salık gerçeklikler kümesi olduğu ve bunların imlemlerinin gelecek deneyimin sınırsız alanlarında da geçerli olmasının beklenebileceği sanısına kışkırtılmayız. Tersine, dolaysız algının edimsel olarak evrenin belli bir dilimi ile bir tür ilişki içinde kalmanın bir aracı olduğunu anlarız, öyle bir yolda ki eğer algı sürecini doğru olarak işletirsek kıpıdan kıpıya o dilimin genel yapısını ayrımsayabiliriz. Eğer gördüğümüzün gerisinde kalmazsak ve belki de kimi bakımlardan bunun biraz ötesine gidebilirsek (örneğin bir otomobili sürerken belli bir düzeye dek başka otomobillerin, insanların devimlerini, yoldaki dönüşleri vb. önceden bilebiliriz), o ilişkide doyum buluruz. Böylece, dolaysız algı sürecinde, kişi bir tür bilgi edinir ki, bunun *imlemleri* ilişki kıpısında ve bu kıpının ötesinde tahmin edilemeyecek belli bir dönem için geçerlidir. Bu türden geçmiş bilginin başlıca önemi o zaman şimdiki ve gelecekteki algı için *imlemlerinde* yatar, saltık olarak görülen bir gerçeklikler deposunun birikiminde değil.

Böylece dün olanlara ilişkin bilgimiz *kendinde* çok az önemlidir çünkü dün gitmiştir ve bundan böyle hiçbir zaman geri dönmeyecektir. Bununla birlikte, bu bilgi imlemlerinin ve ondan yapılan çıkarsamaların bugün ya da daha sonraki bir tarihte geçerli olabileceği düzeye dek, önemli olacaktır.

Hiç kuşkusuz açıktır ki bilimsel kuramların tahmin edici çıkarsamaları açısından dolaysız algıda doğan "önsavlar"ın olduğundan çok daha geniş bir geçerlik alanları vardır (ama bu daha geniş alanlar ancak çok yüksek soyutlama düzlemlerinde iş görme pahasına satın alınır). Geçerlik alanı böylesine geniş olunca, sık sık sınırlarını tanıtlamak uzun bir zaman alır. Buna karşın, bilimsel araştırmada olan şey, tartışına altındaki problem açısından, dolaysız algıda olandan *temel olarak* ayrı değildir. Çünkü bilimde de evrenin bütünlüğü belirgin olarak *herhangi* bir bilgi biçiminde kavranamayacak denli büyüktür, yalnızca öylesine engin ve ölçüsüz olduğu için değil, ama özellikle birçok düzlem, alan ve yanda tükenmez bir yapılar türlülüğü kapsadığı için. Bu yapıların türlülüğü onların düzen ve modellerini anlatmaya çalışmada kullanabileceğimiz herhangi bir verili kavramsal "ağ"dan kaçar. Buna göre, tıpkı dolaysız

algı alanında olduğu gibi, bilgimiz evren ile tahmin edilemez bir yolda kimi daha öte alanlara genişleyen kökensel bir ilişki alanı için yeterlidir. Saltık olarak geçerli bilgi elde etme amacının böyle bir durumda hiçbir ilgisi olmadığı için, bilimsel araştırmanın temel olarak insanın evren ile algısal ilişkisini genişletmenin bir kipi olarak görülmesini, ve bilimsel *bilginin* başlıca imleminin (dolaysız algıda olduğu gibi) onun bu sürece bir eklenti olması olduğunu önermeye götürülürüz.

Bilimsel araştırmanın temel olarak algısal karakteri, daha öte bilginin birikiminden ayrı birşey olarak, kendini en güçlü olarak yeni olguları *anlama* zamanı geldiğinde gösterir. Herkes yaşamında çeşitli durumlarda böyle bir süreci yaşamıştır. Tanıdık olmayan birşeyin açıklandığını varsayalım (örneğin geometrideki bir teoremin). Kişi ilkin ancak ilişkileri henüz duru olmayan çesitli bilgi kırıntılarını almayı başarabilir. Ama belli bir aşamada, sık sık bir "ışık çakışı" olarak betimlenen çok hızlı bir süreçte, açıklanmakta olanı *anlar.* Bu olduğu zaman, "görüyorum [*I see*]," der ve böyle bir sürecin temel olarak *algısal* karakterini belirtir. (Hiç kuşkusuz, optik görüş ile değil ama bir bakıma "anlığın gözleri" ile görmektedir.) Ama gördüğü nedir? Algıladığı yeni bir bütünsel yapıdır ki, daha eski bilgi parçalarının tümü de onun terimlerinde asıl yerlerini bulur, doğal olarak ilişkilendirilir, ve bu arada birdenbire birçok yeni ve kuşkulanılmayan ilişki kendini gösterir. Daha sonra, bu anlayışı saklamak, onu başka insanlara iletmek, uygulamak, ya da geçerliğini sınamak için kişi onu sözcüklere, formüllere, çizgelere vb. çevirebilir. Ama başlangıçta tekil bir *edim* olarak görünür ki, içinde daha eski yapılar bir yana atılır ve anlıkta yeni bir yapı varlık kazanır.

Yeni kuramlar geliştirme gereksinimi doğduğu zaman, temel olarak yeni adım genellikle anlağın bir edimi ya da bir edimler dizisidir. Böyle bir anlayıştan önce, bilimciler eski kuramlar yeni alanlara uygulandığı zaman ortaya çıkan bir problemler kümesi ile yüz yüze kalır. Bu süreç sonunda yeni problemlere uygulandığı zaman eski kuramlardaki çelişkilerin, karışıklığın ve ikircimlerin ayrımsanmasına götürür. O zaman eğer bilimci eski kavramları bir yana atmaya hazırsa, anlığı yeni ilişkilere duyarlı olabilir, ve hem eski hem de yeni olgular bu yeni ilişkilerin terimlerinde görülebilir. Bu duyarlıktan yeni bir anlayış, e.d. eski olguların yeni bir yapının terimlerinde anlatımı gelişir, ve bunun ise eski bakış açılarının imlemlerinin ötesine giden daha öte imlemleri vardır.

Hiç kuşkusuz tüm böyle anlama edimlerinin dolaysızca doğru kuramlara götürdüğünü sanmamalıyız. Durum böyle olmaktan öyle uzaktır ki, bunların birçoğunun irdeleme altındaki temel problemleri çözmeye yeteneksiz olduğu bulunur. Bu nedenle böyle her bir anlayış geçerlik alanının edimsel olarak ne olduğu görülmek üzere sınanmalıdır. Bunu yapmak için mantıksal olarak anlıkta doğmuş olan yeni düşünceler yapısının imlemlerini geliştirmek zorunludur. Gene de, bu son adımlar ne denli önemli olursa olsun, tümü de özsel olarak anlağın yaratıcı

edimine bağımlıdır ki, onsuz bilim en sonunda ya gelişmeyi durduracak ya da hiçbir zaman sınırlı bir düşünceler çemberinin ötesine geçmeyen sınırlı bir alanda boğulacaktır.

İnsan anlığının yukarıda betimlenen yolda yeni yapılar geliştirme olanağına hiçbir sınır yok gibi görünür. Ve kuramların ilk geliştirildiği zaman erişilebilir olan olguların ötesine giden yeni kuramlar ve kavramlar ortaya koyma yeteneğimizin arkasında yatıyor görünen şey bu olanaktır. Anımsanmalıdır ki bu olanak bilimsel araştırmada olduğu kadar dolaysız algıda da bulunur, çünkü çok sık olmak üzere "iç görünüş"te oluşturulan şey, daha önce gördüğümüz gibi, gelecek algılar için birçok doğru tahmin-edici çıkarsamaya götürür. Açıktır ki böyle bir yetenek yalnızca biri doğrulanıncaya dek ortaya rasgele "önsavlar" koyan bir tür düzeneğe bağlı olamaz. Tersine, henüz bilinmeyen nedenlerle, insan anlığı ister dolaysız düzlemde isterse anlamayı ilgilendiren en yüksek düzlemde olsun genel algı sürecinde öyle yapılar yaratabilir ki, bunların onlar için kanıta dayanak olan alanın ötesine giden alanlarda doğru olma konusunda dikkate değer ölçüde yüksek bir şansları vardır. Bu olanak temelinde, "yanılma-sınama" süreci uygunsuz olan yapıları etkili olarak ayıklayabilir. Aynı zamanda, öyle gereçler sağlamaya yardım edebilir ki, bunların eleştirisi yeni anlama ya da algılama edimlerine götürür, ve bunlarda genellikle daha geniş bir geçerlik alanları olabilecek ve olgulara eskilerinden daha iyi karşılık düşebilecek daha da yeni yapılar ortaya koyulur.

Toparlarsak, özsel nokta algı yoluyla her zaman evren ile ilişkiye girme sürecinde olmamızdır, öyle bir yolda ki kendisi ile ilişkide olduğumuz dilimin genel yapısını ayrımsayabiliriz. Bilim o zaman yeni alanlarda, yeni düzlemlerde, değişik aletlerin yardımıyla vb. evren ile yeni ilişki türleri kurmanın bir aracı olarak görülebilir. Ama bu ilişkiler değişimsiz olanın dolaysız algının "iç görünüş"ündeki yapının terimlerinde sunulmasını sağlayan sürece çok yüksek bir düzlemde karşılık düşen anlama edimi olmaksızın çok az anlamlı olacaktır. Bilimin bir saltık gerçekliğin bilgisine götürmemesinin bundan böyle çok kafa karıştırıcı olması gerekmez. Çünkü bilimin sağladığı bilgi (tüm başka bilgi gibi) temelde kıpıdan kıpıya bir evren ile ilişkiye girme sürecimizde açıklanmış olan yapının anlatımıdır—bir evren ki bütünlüğü verili herhangi bir düşünceler, kavramlar, tasarımlar vb. kümesinin terimlerinde kavrama yeteneğimizin ötesindedir. Buna karşın, şimdiye dek ilişki içinde olmuş olduğumuz şeylerin oldukça iyi bir kavrayışını elde edebiliriz ki, bu kavrayış bu ilişki üzerine dayalı olanın ötesinde büyük ya da küçük belli bir alanda da geçerlidir. Çelişkiler karşısında uyanık ve yeni ilişkiler karşısında duyarlı kalarak, böylece yeni bir anlayışın büyümesine izin vererek, evren ile ilişkimizi sürdürebiliriz ve belli yollarda daha sonra gelecek olanı önceden bilebiliriz.

Bilimde bu süreç çok yüksek bir soyutlama düzleminde, yılları içeren zaman ölçeğinde yer alır. Dolaysız algıda daha aşağı bir soyutlama düzle-

minde yer alır, ve çok hızlıdır. Bilimde süreç güçlü bir biçimde ortaklaşa çalışma üzerine dayanır, birçok insanın katkısını içerir, ve dolaysız algıda büyük ölçüde bireyseldir. Ama temel olarak her ikisi de tek bir bütün sürecin, içinde hiçbir saltık bilgi ile karşılaşmayacağımız bir tür genelleştirilmiş algının sınırlayıcı durumları olarak görülebilir.

Kısa Bir Sözlük

açılım *expansion* (matematiksel anlatımda)
alet *instrument*
almaşık *alternative*
anlak *understanding. intelligence*
asıl zaman *proper time*
aygıt *apparatus*

bağımsız değişken *argumen*
bağlam *context*
bakışık *symmetrical*
belirlemek *determine*
belirlenim *determination*
bengilik *eternity*
benzersiz *unique*
beti *figure*
biçimdeş *uniform*
bileşen *component*
bozulma (= dağılma) *decay*
bulgulatıcı *heuristic*

cisim *body*
Coriolis etkisi devinen cisimlerin çevrinen bir gönderme çatısından görüldüğünde yer alan görünürde sapmaları
çatı *frame*
çevrim *rotation*
çevrinmek *rotate*
çizge *diagram*

değişim *change, alteration*
değişken *variable*
değişki *modification*
değişmez *constant, fixed*
değişimsiz *invariant*
değişimsizlik *invariance*
değişmez *constant, fixed*
deneyim *experience*
devim enerjisi *kinetic energy*
devinirlik *momentum*
dikey *orthogonal*
dinamik *dynamical* (devimsel = kinetik)
dinginlik *rest*
dinginlik enerjisi *rest energy*
dizem *rhythm*
dizge *system*
doğru *true, correct* (tasarımın nesnesine karşılık düşmesi)
dönem *period*
dönü *spin*
dönüşüm *transformation*

emk elektromotif kuvvet
enerji *energy* ("Enerjinin bir tür devimin *her zaman* nicelikte değişmeyen ama dönüştürülebilir bir yanı ve işlevi olduğunu ve hiçbir zaman bağımsız olarak varolan bir töz olarak görünmediğini vurguluyoruz"; s. 107)
eşbulunuşlu *co-present*
eşdeğer *equivalent*
eş-gizilgüç *equipotential*
eşzamanlılık *simultaneity*
etker kütle *effective mass*
etkileşim *interaction*
etmen *factor*
evre hızı *phase velocity*
evren çizgisi *world line*

genelleme *generalisation*
gerçek *true, real, genuine* (nesnenin kavrama karşılık düşmesi; 'real man/gerçek insan' fiziksel insanı değil, kavramına uygun insanı anlatır)
gerektirim *requirement*
gerginlik *stress*
geri kuvvet *back force (geri-emk ya da karşı-emk; kendisini irkiten akıma karşı doğan emk)*
gerinim *strain*
girişim *interference* (**yapıcı girişim**: *constructive interference*)
girişimölçer *interferometer*
gizilgüç *potential*
gönderme çatısı *reference frame*
göreli *relative*
görelilik *relativitiy*

hız *velocity*

ısı *heat*
ısıl *thermal*
ışıma *radiation*
ışınetkin *radioactive*

ikircim *ambiguity*
ilişki(sel) *relation(al)*
imlem *implication, significance*
irkilim *inductance*
irkitme *induction*
işlev *function*
işleyimsel *industrial*
ivme *acceleration*
izge *spectrum*
izlek *trajectory*

kalıp *pattern*
karşılı *reciprocal* (*mat.* 1 ile bölünmüş sayı ya da nicelik)

kasılma *contraction;*
kısalma *shortening*
kavram *notion, concept*
kaynaşma *fussion*
kendilik *entity*
kesikli *discrete*
kılgısal *practical*
kırınım *diffraction*
kıpı *moment, instant*
kip *mode*
köken *origin*
kurgul (kuramsal) *speculative*
kurulum *construction*
kuvvet *force*
kütle *mass*

nice *quantum*
olay *event*
olgu *fact*
olgusal *factual, real*
olgusallık *reality*
oran *rate*

öğe *element*
önsav *hypothesis*
örtük *implicit* (krşt. **belirtik**/*explicit*)
örüntü *pattern*; *lattice*
öteleme *translation*
özek *center*
özekkaç *centrifugal*
özel *special*
özünlü *inherent*

rad radyan (daire özeğinden iki yarıçapı arasındaki yayı yarıçapa eşit alan açı; 57,296 derece)
rahatsızlık *disturbance* (tedirginlik: *perturbation*)
relativistik relativistic (görelilik ya da görelilik ile ilgili)

saçak *fringe*
sağ duyu *common sense*
sakınım *conservation*
salınaç *oscillator*
salınım *oscillation*
saltık *absolute*
saltık doğruluk *absolute truth* ('doğruluk' tasarımın nesnesine karşılık düşmesi olduğu için, tasarımın kendisinin *göreliliğinden* ötürü 'saltık doğruluk' anlatımını çürütme çabası gereksizdir, çünkü deyim bir oxymorondur)
sapınç *aberration*
saptanmış *fixed*
sayıltı *assumption*
sezgi *intuition*
sıcaklık *temperature*
sıklık *frequency*
soyutlama *abtraction*
soyutlamak *abtract* (David Bohm sözcüğü 'çıkarsama' ya da 'türetme' anlamında kullanıyor, bkz. s. 191)
süreç *process*
süredurum *inertia*
sürekli sft:*continuous, permanent;* ad: *continuum*

tahmin *prediction*
tekillik noktası *singular point*
tepke *reflex*
tikel *particular*
toplam *total*
töz *substance*
tözselleştirme *substantialize*

uygulayımsal *technical*
uylaşım(sal) *convention(al)*
üslenmiş *primed* (′) ile işaretli; çoğul koordinat dizgeleri arasında özellikle devinen, ivmelenen, ya da bir başkasından türetilmiş olan dizgeyi ayırdetmek için kullanılır)
üslü *exponential*
üst-daire *epicycle*

varoluş *existence*
vuruş *pulse*

yakınsaşma *convergence*
yanılgı *error*
yapı *structure, construction* (yapı, kurulum: Piaget: "bir kurulum/yapım olmaksızın bir yapı yoktur" :: "« il n'existe pas de structure sans une construction," *Le structuralisme*, 1968)
yapıcı girişim: *constructive interference*
yapılandırmak *structure*
yarılma *fission*
yayınım *radiation*
yeğin *violent*
yeniden-kurma, yeniden-kurulum *reconstruction*
yerdeğişim *displacement*
yeterli *adequate*
yordam *procedure*
yük *charge*

zamandaş *synchronous*
zamandizinsel *chronological*
zamanlama *timing*

Dizin

A
akan suda ışık hızının ölçümü 75
algı (bilimsel araştırmada yeri) 190; (zaman) 181
Antik Yunanlılar 17
antiproton 90
a priori (Kant) 187
Aristoteles 17, 18, 54, 71, 115
asıl zaman 144
atom 33, 104, 111
"aynı zaman" kavramı 132
ayrıcalıklı bir gönderme çatısı 23
ayrıcalıklı kıpı 19

B
bilgi (bir algı kipi) 190; (yüksek-düzey bir soyutlama) 190
bilim (dünya ile algısal bağıntı sorunu) 8
bilimsel araştırma (algı) 190; (temel karakteri algısal) 198
bilimsel kuramlar (sınırlı bilgi) 197
Bohr, Niels 110
Bondi, H. (*K* kalkülüs) 122
bütünsel enerji, bir dizgenin (değişimsiz) 107

C
Coriolis kuvveti 20, 143

Ç
çekirdek yarılması/*fission* 91
çevrimler (trigonometrik ve hiperbolik) 134
çubuk kısalması 34

D
da're en eksiksiz geometrik şekil 18
deneyim (Kant) 186; (kavram ile ilişkisi) 166
devim 108; (algılanması) 180
devinirlik 81
dinginlik enerjisi 89, 109; ($e = mc^2$) 89
dinginlik kütlesi 90; (sıfır; enerji ve devinirlik) 94
Ditchburn 174
doğal yer 17
doğa yasaları 116, 155
doğa (yasallığı) 164
doğruluk, saltık 115
döngüsel tepke 165
Doppler kayması 76, 126, 150
durağan yıldızlar (gönderme çatısı) 20

E
$\mathscr{E}$ ve $\mathscr{H}$ elektromanyetik alan vektörleri 22
Einstein (başlıca katkısı) 5
elektriksel kuvvetler 34
elektromanyetik enerji 91
elektromanyetik kütle 37
elektromotif kuvvet 37
elektron 33, 36; (dinginlik enerjisi) 90; (ether içinden devimi) 34
elektron-pozitron çifti 90
$e = mc^2$ 7, 88, 91
enerji (anlamı) 107; (bağımsız bir töz değil) 107; (devim niceliği) 107; (dönüşümleri) 107; (kütleye katkısı biçime bağlı değil) 109; (sıfır dinginlik kütleli parçacıkta) 94
enerji ve devinirlik (değişimsiz fonksiyonlar) 107
enerji ve kütle dönüşümü 108
eşdeğerlik ilkesi 106
eşzamanlılığı ölçme problemi 40
eşzamanlılık 57-59, 61, 148; (anlamı) 61; (göreliliği) 61; (Newton kuramında) 131; (sonlu ışık hızı ile) 53
ether 23, 27, 71; (E. hipotezini kurtarma) 28; (E. ile göreli hız sorunu) 40; (konutlanması) 71; (sürüklenmesi) 28-30; (Yeryüzü tarafından sürüklenmesi) 29
etker kütle 37, 91
etker nedenler 17
Euklides 177
Euklides geometrisi 170
evren çizgisi/*world line* 121
evren tüpleri 131s

F
Faraday 23, 98
Fitzgerald (*n*) 35
Fizeau deneyi 36, 39
Fizeau yöntemi 101; (ışık hızının ölçümü) 39
fiziksel değme (ı edensellik) 139
fizik yasası (kuraldışı tanımaz) 73
$F = ma$ 105
fotoelektrik etki 113

G
Galileo 19
Galileo dönüşümü 20, 113; (niçin doğru değil) 64
Galileo hızların toplamı yasası (ışık hızı) 64
Galileo ve Newton yasaları 19
gamma ışınları 90

genel görelilik 59; (kütle, yerçekimi) 106
genel görelilik kuramı 73, 143, 147; (Einstein'ın ggk bütünüyle doğru değil) 114
geri kuvvet 37
görelilik ilkesi 73; (görelilik ilkesi, sınırlı) 20
görelilik kavramları, Einstein-öncesi 17
gözlem aletleri (eşzamanlılık ile ilgileri) 61

H
Heisenberg 195; (belirlenimsizlik ilkesi) 156
hidrodinamik (etker kütle) 37
hızların toplamı için relativistik yasa 69
Hubel 175

I
ışık hızı 22
ışık hızında devinen şeyler 94
ışık hızının ölçümü (akan suda) 75; doğrudan ölçümü henüz yapılmadı) 48; (Fizeau) 39; (gözlemciden bağımsız) 48

İ
ikizler paradoksu 146
insanın rolünün indirgenmesi (Kopernik kuramı) 18
ivmelenen bir gözlemci 143

K
Kant 186s
kara-cisim ışıması 113
karşı-parçacık 90
kavram (anlağa örtük, e.d. 'doğuştan') 166
kaynaşma/*fusion* 91
kendilerinde şeyler 186
K etmeni 126
K kalkülüs 120, 122
Kopernik 18, 71
Kopernik kuramı 18
Kuhn (*n*) 190
kuram (tahmin) 117
kütle 106; (elektromanyetik ışımanın etkisi) 91; (etker K.) 37, 91; (kökende elektromanyetik) 38; (özdek niceliği, süredurum, yerçekimi) 105
kütle ve enerji dönüşümü 108; (doğrulaması) 90
kütle ve enerji kavramları 103

L
Lenz'in yasası 37
Lodge. Sir Oliver 29s
Lorentz dönüşümü 44s, 126; (evrik LD) 46
Lorentz (elektron-kuramı) 33; (ether) 71
Lorentz kasılması 35, 100
Lorentz kuramı 33, 44

M
Maxwell 22
Maxwell'in denklemleri 23, 34, 71s
$m = E/c^2$ 109
mezonların bozulması 76
Michelson-Morley deneyi 25, 28, 71, 100
Minkowski çizgesi 120, 159

N
neden (fiziksel değme) 139
nedensel bağıntı 142
nedensellik 138; (kavramın (bebekte gelişimi) 167
nedensellik sorusu 138
Newton (Aristoteles) 21; (devim yasası) 19; (kavramları, saltık ve göreli) 6; (saltık uzay) 21
nokta olay 120

O
olumsallıklar (görgül bilgi ile ilişkileri) 155
Orta Çağlar 17, 115
özekkaç kuvvet 20
özel görelilik 59
özel görelilik kuramı (bütünüyle doğru olamaz) 114
özel (kısıtlı) görelilik kuramı 73

P
paradoks (geçmiş ve gelecek) 140
parçacık kuramı (yanlış) 114
Piaget 164; (soyutlama) 191
Platt 175
Popper 190; (kuramların yanlışlanması) 113
pozitron 90
Ptolemi 113
Ptolemi kuramı 18

Q
quantum kuramı 113, 156, 195
quantum mekaniği (yaklaşık kuram) 114

R
relativistik ikircim 139
Rutherford 33

S
saat (ether içinde devim) 38
saçak kayması (Michelson-Morley deneyi) 35
salınaç 36
'saltık doğruluk' kavramı 115
saltık gelecek 141
saltık uzay 21
saltık uzay ve zaman düşünceleri 54
saltık uzay ve zaman kavramı (ether ile ilgisi?) 72
ses dalgaları 23
sıfır dinginlik kütleli parçacık (enerjisi) 94

sınırlı görelilik ilkesi 20
Skolastikler 17s, 71
sonsal nedenler 17
soyutlama (David Bohm'un sözcüğü kullanımı) 191; (Piaget) 191
süredurum (kütle) 105
süredurumlu koordinatlar çatısı 19
süredurum yasası (Newton) 19

T
tümevarım 191

U
uzay ve zaman 132, 134

Ü
üst-daireler 18

W
Wiesel 175

Y
yanlışlanma, kuramların (Popper) 113
yasa (zorunlu ve evrensel olmalı) 73
yedi kristal küre 18
yerçekimi kütlesi ve süredurum kütlesi 105s

Z
zaman (algı) 181; (Newton) 21

ABD'de Macar-Litvanya kökenli göçmen bir Yahudi aileye doğan David Bohm (1917-1992) 20'nci yüzyılın en önemli kuramsal fizikçilerinden biridir. Felsefeye, nöropsikolojiye ve Manhattan projesine katkıları da dikkate alınan Bohm'un Modern Fiziğe getirdiği yeniliklerden biri "büyük ölçüde felsefi düşüncelerden doğduğunu" söylediği "quantum fiziğinin nedensel yorumu" idi. Bohm California Üniversitesinde kuramsal fizik grubunu yöneten Robert Oppenheimer ile ve Princeton Üniversitesinde Albert Einstein ile yakın işbirliği içinde çalıştı. Radikal politik görüşleri nedeniyle Manhattan Projesinde etkin olarak yer almasına izin verilmeyen Bohm daha sonra McCarthy dönemi sırasında kovuşturmaya uğradı. 1952'de ABD'yi terk etti ve ilkin Brezilya'da, daha sonra İngiltere'de fizik öğretmenliği yaptı.

David Bohm'un Kuramsal Fizik üzerine Londra Üniversitesi Birbeck Koleji'nde verdiği derslerden oluşan bu kitap başlıca Özel Görelilik Kuramının temelinde yatan kavramsal yapı üzerine bir araştırmadır. Yalnızca temel cebir ve trigonometri bilgisi gerektiren matematiksel yapısı ile, çalışma görelilik kuramı üzerine popüler yorumlar arasında en iyilerinden biri olarak kabul edilir.

> "Bu kitabın genel amacı görelilik kuramını birleşik bir bütün olarak sunmak, kabul edilmesine götüren nedenleri açığa çıkarmak, temel anlamını olanaklı olduğu ölçüde matematiksel-olmayan terimlerde açıklamak, ve tam imlemlerini anlamamızı güçleştiren örtük "sağ-duyu" sayıltılarından kimilerinin sınırlı doğruluklarını ortaya sermektir."

Görelilik Kuramı salt bir *kuram* olduğu için *realite* ile ilişkisi açık bir sorudur. Görgül fiziğin realiteye ilişkin bir *modeller* ardışıklığı sürecinde gelişmesi ölçüsünde, Einstein'ın görelilik *kuramlarını* mekanikte bir sonsöz olarak almak bilimsel gelişim kavramının kendisi ile geçimsizdir. Modern Fiziğin iki birincil kuramı, Görelilik ve Quantum kuramları, henüz yalnızca *kuramlar* oldukları için, henüz Bilim kavramına uygun olmadıkları çünkü sağın kavramsal tutarlıktan yoksun oldukları için, daha öte gelişim sürecindeki *geçici* basamaklar olduklarını ancak daha yüksek, daha eksiksiz modellere izin verdikleri ölçüde tanıtlayabilirler:

> "Einstein'ın özel görelilik kuramı yalnızca genel kurama bir yaklaşıklık sağladığı için bile olsa bütünüyle doğru olamaz. Ve Einstein genel göreliliği, elektrodinamiği ve öğesel parçacık kuramını yaklaşıklıklar ve sınırlayıcı durumlar olarak kapsayacağını umduğu daha genel bir 'birleşik alan kuramı' için araştırmaya giriştiği zaman, örtük olarak genel kuramın bile bütünüyle doğru olmadığını kabul etmiş oldu. Bundan başka, klasik mekaniğin çok ayrı bir kuram türü olan quantum mekaniğinin bir yaklaşığı ve sınırlayıcı durumu olması anlamında yanlış olduğu gösterilmiştir. Ve şimdi öyle görünür ki yürürlükteki öğesel parçacık kuramının, quantum mekaniği ile birlikte, henüz bilinmeyen daha da genel yeni bir tür kurama salt bir yaklaşıklık olması anlamında yanlış olduğunun gösterilmesi olasıdır" (*ÖGK*, s. 114).

David Bohm Fiziği salt soyut niceliğin bir bilimi olarak, bir tür modern Pisagorculuk olarak görmedi. Yalnızca matematiksel "formülleri alarak onları daha da soyut biçimlere dönüştürmek ve bu arada arkalarındaki düşünceleri gözardı etmek" bugün popüler yöntem olsa da, "fiziğin amacı deneylerin sonuçlarını doğru olarak tahmin edecek formüller üretmek değildir." Matematiksel formalizm "doğaya ilişkin bilgimizin asıl özünü anlatmaz." Realite salt sayı olmaktan daha çoğudur. "Matematik üzerine bu vurgunun ve fiziğin adım adım çoğunlukla denklemler üzerine konuşma alışkanlığına kaymasının nedeni quantum kuramının ve görelilik kuramının hiçbir zaman fiziksel kavramların terimlerinde yeterli olarak anlaşılmaması idi" (*Science, Order and Creativity*, 1987, s. 4, 5). David Bohm fiziğin kavramsal sorunlarını ciddi felsefi düzleme yükseltti. Hegel'in felsefesi üzerine, özellikle *Mantık Bilimi* üzerine çalışması, onu kavrayışı, ve onu kendi geliştirdiği quantum kuramında kullanması Hegel'in felsefesinin yalnızca sözde dil felsefelerinden değil ama boş Hegelciliklerden de ayrı olarak gerçekte ne ile ilgili olduğunu gösteren önemli bir ölçüttür.

— Aziz Yardımlı

İDEA 79
DOĞABİLİM: FİZİK
ISBN 978 975 397 083 9

idea