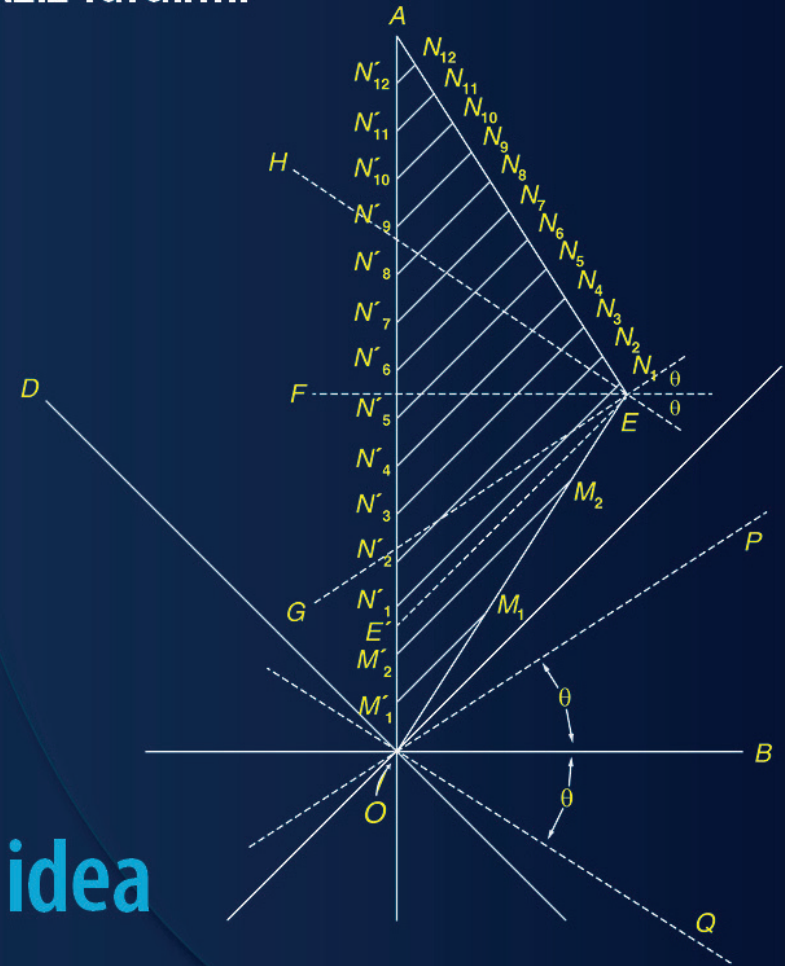


Özel Görelilik Kuramı

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 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 tür-lülüğünün istemleri tarafından zorlanan öğrencinin değerli zamanını dolduracak olması olgusuna karşın, yazar bu kavramların kısa bir özeti ni 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 bağınıta 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 açıları nın bu karışımını açığa çıkarabilmek için, eski uzay ve zaman kavramları nın ve onlarla birlikte onlara temel olan "sağ-duyu" kavramlarının çözümlenmesi konusunda dikkate değer bir çaba gösterilmektedir.

Sağ-duyunun ve Newton'ın uzay ve zaman kavramlarının arkasındaki genellikle "gizli" sayılıtların, eğer görelilik kuramını anlayacak sak düşülmeleri gereken bu sayılıtların 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 anlaşılamadığı görülür. Bu varğıdan nesnelere uzunlukları ya da saatlerin hızları üzerine de anlaşılamadıkları 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 varğıları 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 çözümlenmesi 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 bağtında, 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” sayılılar ile çelişmesi olduğunu bulmuştur. Bu nedenle kütle üzerine sağ-duyuya dayalı örtük sayılılarımızı 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 saltuk doğruluklar oluşturduğu biçimindeki gizli sayılı üzerine dayanıyor görünür. Saltuk 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 eklemelenmesine 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 saltuk 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 örnekleme 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 alması kavramsal haritaları arasındaki ilişki üzerine bir kapanış tartışması vardır. Bu tartışma bir kavramsal harita olgusallığının kendisi ile özdeşleştirildiğinde ortaya çıkan karışıklığı gidermeyi amaçlar—bir tür karışıklık ki, görelilik kuramı ile ilk kez karşılaşan bir öğrencinin sık sık yaşadığı güçlüğü 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 ayırmsanmasına ve anlaşılmasına götürdüğünü 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 Görellik Kavramları 17
- III. Elektrodinamik Yasalarının Görelliği 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 Uzak-Zaman Ölçümlerinin Anlamlarına Özünü İkircim 47
- XI. Gönderme Çatılarının Terimlerinde Uzak ve Zaman Kavramlarının Çözümlemesi 49
- XII. "Sağ-Duyu" Uzak ve Zaman Kavramları 54
- XIII. Einstein'ın Uzak ve Zaman Kavramlarına Giriş 57
- XIV. Einstein'ın Bakış Açısından Lorentz Dönüşümü 64
- XV. Hızların Toplamı 68
- XVI. Görellik İlkesi 71
- XVII. Görelliğin Kimi Uygulamaları 75
- XVIII. Görellikte 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 Görellik İçin Deneysel Kanıt 100
- XXIII. Bir Kez Daha Kütle ve Enerji Eşdeğerliği Üzerine 103
- XXIV. Yeni Bir Ögesel Parçacıklar Kuramına Doğru 110
- XXV. Kuramların Yanlışlanması 113
- XXVI. Minkowski Çizgesi ve K Kalkülüs 120
- XXVII. Olayların Geometrisi ve Uzak-Zaman Sürekli 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 görelî 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 yansıtıldığında, 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 terk edilirken yerlerini almak üzere çok az şey önerilir.

Bu notlarda görelilik kuramının daha kolay anlaşılabilir 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 ögesel 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 görelî) 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 pek çok 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 umud ediyoruz.

II

Einstein-Öncesi Görelilik Kavramları

Fizik yasalarının ilişkisel (görelî) 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 karşılık 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 usayatkin 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 saltuk 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 andırımı 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” Ptolemy kuramı geliştirildi. Böylece, Aristotelesci ilkeler korundu, ve edimsel yörüngelerin görüntüleri 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 kozmosda 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 saltuk uzay ve zaman kavramlarının çöküşüne ve uzay ve zamanın öneminin ilişkide yattığı anlayışının gelişimine götürülen bir kavramlar evrimini başlattığı söylenerek toparlanabilir.

Bu değişimi biraz uzunlamasına açıklayacağız, çünkü bizi görelilik kuramı ile denmek istenen şeyin özüne götürür. Kısaca, özel olan nokta uzayda ayrıcalıklı yerler ya da zamanda ayrıcalıklı kıpırlar 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 özeline tüm özdeğin ona doğru çabaladığı yer olarak özel bir rol veren Aristotelesci kuramın durumundan çok ayırdır.

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 özel özelliklerini formüle etmek olanaklı değildi. Galileo'nun anladığı şey, temel olarak, tıpkı biçimde bir hızın değişmez bir konum değişimi oranı olması gibi, biçimde bir ivmenin de değişmez bir hız değişim-oranı olarak düşünülebileceği idi,—e.d.,

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

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:

$$m\mathbf{a} = m\dot{\mathbf{v}} = \mathbf{F} \quad (2-2)$$

ki burada $\mathbf{a} = \dot{\mathbf{v}}$ cismin ivmesi ve \mathbf{F} ise üzerindeki kuvettir. Bu yasalarda Newton yerçekimi kuvvetinin Yeryüzünün yüzeyinin yakınında değişmez olması olgusu yoluyla Galileo'nun sonuçlarını topladı. 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 açmıyaya dek böyle devinmeyi sürdürecektir.

Newton'ın yasalarının getirdiği önemli bir soru bu yasaların içinde geçerli olduğu "süredurumlu koordinatlar çatası" 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 çatusını kabul edersek, o zaman özekkaç kuvveti ve Coriolis kuvvetini eklemek zorunda kalırız. Bir ilk yaklaşıklık olarak, Yeryüzünün yüzeyi bir süredurumlu gönderme çatusı olarak alınır; ama çevrindiği için böyle bir sayıltı tam olarak geçerli değildir. Newton uzak "durağan yıldızların" sağın bir koordinatlar çatusı için temel olarak görülebileceği önerisinde bulundu, ve bu gerçekten de uygun çıktı, çünkü bu sayıltı altında gezegenlerin yürüngeleri en sonunda Newton'ın yasalarından doğru olarak hesaplandı.

Bir süredurumlu dizge olarak "durağan yıldızlar" sayıltısı kılğısal 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 yük-lüydü. Çünkü "ayrıcıklı rol" gerçekte Yeryüzünün özeğinden durağan yıldızlara aktarılmıştı.

Gene de, fizik yasalarının "görelileştirilmesi" onların ayrııcıklı 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 çatusının ayrııcıklı 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:

$$\begin{aligned}\mathbf{x}' &= \mathbf{x} - \mathbf{u}t \\ \mathbf{v}' &= \mathbf{v} - \mathbf{u} \\ t' &= t\end{aligned}\quad (2-3)$$

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

Şimdi yeni gönderme çatusındaki devim denklemlerine bakalım. (2-2) denklemleri şöyle olur:

$$m\mathbf{a}' = m \frac{d^2 \mathbf{x}'}{dt'^2} = m \frac{d^2 \mathbf{x}}{dt^2} = m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = m\mathbf{a} = \mathbf{F} \quad (2-4)$$

Bu demektir ki yeni gönderme çatusında 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

¹Galileo 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 de-ğişkiye 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.

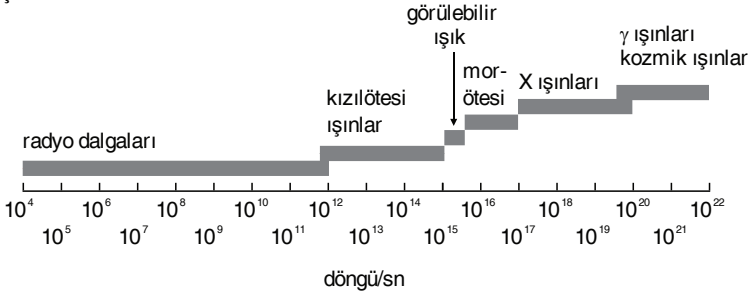
III

Görelilik Problemi ve Elektrodinamik Yasaları

Gördüğümüz gibi Newton mekaniğinde bile güçlü bir görelilik ögesi 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 belirtir olarak ve kapsamlı olarak ortaya koymak gibi daha da önemli bir adımın temelini atmaktır.

Görelilik ilkelerini elektrodinamik ve optik fenomenlere genişletmek için zorunluymdu? Neden temel olarak ışığın sonlu bir yayılma hızının olmasıdır: $C \cong 3 \times 10^{10} \text{cm/sn}$. Şimdi, ışık başlangıçta bu hızla devinen parçacıklardan oluşmuş olarak görülürken, daha sonra ışığın girişim, kırınım vb. özellikleri ile bir dalga olduğu keşfedildi. Maxwell'in \mathcal{E} ve \mathcal{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 sayılıntının daha öte doğrulanmasını sağladı. Işık, kızıl-ötesi ve mor-ötesi ışınlar, ve ayrıca başka birçok ışın türü o zaman ısıtılmış ve başka türlü uyarılmış özdekte devinen elektronlar, atomlar vb. tarafından yayılan çok yüksek frekanslı elektromanyetik ışınlar 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 ışın 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 özdeklere 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 sayılı doğruysa, o zaman Galileo’nun mekanik göreliliği elektrodinamik için, ve özellikle ışık için geçerli olamaz. Çünkü eğer ışığın ether ile göreliliği 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 göreliliği 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 “ayrıcılık” bir gönderme çatısı, e.d. bir ether gönderme çatısı olacaktır.

Bu hiç kuşkusuz özünü olarak usa aykırı bir düşünce değildir. Böylece, ses dalgaları gerçekte hava ile göreliliği olarak belli bir V_s hızında devinir. Ve bir U hızı ile devinen bir trene göreliliği olarak, hızları $V_s' = V_s - U$ 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 göreliliği 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 açılal konumunda bir dişin bir önceki dişin yerini alması için geçen T zamanı saptanır. Buna göre ışık hızı şu formül ile verilir:

$$C = \frac{2L}{T} \quad (3-1)$$

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 ayırım gösterecektir. Şimdi bu ayırımın değişik mevsimlerde gözlemlendiği biçimiyle ışık hızında görünüp görünmeyeceğini görelim.

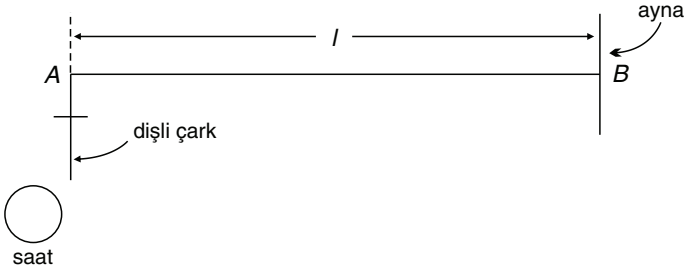
Eğer C ışığın ether ile görelî hızı ise, ışık laboratuvarı ile görelî olarak aynaya doğru giderken $C - U$, ve geri dönerken $C + V$ olacaktır. Geçiş zamanı T böylece

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

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 sınımadaki başlıca güçlük ışık hızının çok büyük sağınlık gösteren ölçümlerini elde etmekte. 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 sınımanın aracı olarak da hizmet edecekti.

Şekil 4-1

