

Bilim Felsefesinde Metinler

Albert Einstein

Özel ve Genel Görelilik Kuramı

Görelilik Kuramı: Felsefesiz 'Bilim'
üzerine bir Arkasöz ile çeviren
Aziz Yardımlı

idea

ALBERT EINSTEIN
ÖZEL VE GENEL
GÖRELİLİK KURAMI ÜZERİNE

Albert Einstein
Özel ve Genel Görelilik Kuramı
Üzerine

Görelilik Kuramı: Felsefesiz 'Bilim'
üzerine bir Arkasöz ile çeviren
Aziz Yardımlı

İdea Yayınevi
Şarap İskelesi Sk. 2/19 Karaköy, Beyoğlu — İstanbul
Bu çeviri için © Aziz Yardımlı 1997, 2022
Görelilik Kuramı: Felsefesiz 'Bilim' © Aziz Yardımlı 1997, 2022
Albert Einstein
Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie (1916)
Özel ve Genel Görelilik Kuramı
Birinci baskı 1997
Tüm hakları saklıdır
Bu kitabın hiçbir bölümü yayınevinin
izni olmadan herhangi bir biçimde yeniden üretilemez

ISBN 978-975-397-025-9

İçindekiler

Özel ve Genel Görelilik Kuramları

Önsöz 9

On Beşinci Yayına Not 10

Birinci Bölüm

Özel Görelilik Kuramı Üzerine

- § 1 Geometrik Önermenin Fiziksel İçeriği 11
- § 2 Koordinatlar Dizgesi 12
- § 3 Klasik Mekanikte Uzay ve Zaman 14
- § 4 GALİLEO Koordinatlar Dizgesi 15
- § 5 Görelilik İlkesi (Dar Anlamda) 15
- § 6 Klasik Mekanığe Göre Hızların Toplamı Teoremi 17
- § 7 Işığın Yayılım Yasasının Görelilik İlkesi İle Görünürdeki Bağdaşmazlığı 17
- § 8 Fizikte Zaman Kavramı Üzerine 19
- § 9 Eşzamanlılığın Göreliliği 20
- § 10 Uzaysal Uzaklık Kavramının Göreliliği Üzerine 22
- § 11 LORENTZ Dönüşümü 22
- § 12 Devinen Çubukların ve Saatlerin Davranışı 25
- § 13 Hızların Toplamı Teoremi — FIZEAU'nun Denemesi 27
- § 14 Görelilik Kuramının Bulgulatici Değeri 28
- § 15 Kuramın Genel Sonuçları 29
- § 16 Özel Görelilik Kuramı ve Deneyim 31
- § 17 MINKOWSKI'nin Dört-Boyutlu Uzayı 343

*İkinci Bölüm***Genel Görelilik Kuramı Üzerine**

- § 18 Özel ve Genel Görelilik İlkesi 38
- § 19 Yerçekimi Alanı 38
- § 20 Genel Görelilik Konutlaması İçin Kanıt Olarak Süredurumlu ve Ağır Kütlenin Eşitliği 39
- § 21 Klasik Mekaniğin ve Özel Görelilik Kuramının Temelleri Ne Ölçüde Elverişsizdir? 41
- § 22 Genel Görelilik İlkesinden Birkaç Çıkarısama 42
- § 23 Çevrinen Bir Gönderme Cismi Üzerinde Saatlerin ve Cetvellerin Davranışı 44
- § 24 ÖKLİDES Sürekli ve ÖKLİDES-Dışı Sürekli 46
- § 25 GAUSS Koordinatları 47
- § 26 Özel Görelilik Kuramının ÖKLİDES Sürekli Olarak Göritlen Uzaysal-Zamansal Sürekli 49
- § 27 Genel Görelilik Kuramının Uzak-Zaman Sürekli Bir ÖKLİDES Sürekli Değildir 50
- § 28 Genel Görelilik İlkesinin Sağın Formülasyonu 52
- § 29 Yerçekimi Probleminin Genel Görelilik İlkesi Temelinde Çözümü 53

Bütün Olarak Evren Üzerine İrdelemeler

- § 30 NEWTON Kuramının Kozmolojik Güçlükleri 55
- § 31 Sonlu ve Gene de Sınırsız Bir Evrenin Olanağı 56
- § 32 Genel Görelilik Kuramına Göre Uzayın Yapısı 59

Ekler

- 1 LORENTZ-Dönüşümlerinin Yalın Türetilişi (§ 11'e Ek) 60
- 2 MINKOWSKI'nin Dört-Boyutlu Evreni (§ 17'ye Ek) 63
- 3 Genel Görelilik Kuramının Deneyim Yoluyla Doğrulanması 64
- 4 Genel Görelilik Kuramı İle Bağıntı İçinde Uzayın Yapısı (§ 23'e Ek) 69
- 5 Görelilik ve Uzak Sorunu 70

Arkasöz (AZİZ YARDIMLI) 83**Çözümlemeler (AZİZ YARDIMLI) 127****Sözlük 139**

ALBERT EINSTEIN
ÖZEL VE GENEL
GÖRELİLİK KURAMI ÜZERİNE

Önsöz

Bu kitapçık genel bir bilimsel ve felsefi bakış açısından kurama ilgi duyan, ama kuramsal fiziğin matematiksel aygıtı¹ ile tanışık olmayan okurlara Görelilik kuramı üzerine olanaklı en sağın kavrayışı iletmek için amaçlanmıştır. Çalışma bir olgunluk sınavına karşılık düşen bir eğitim düzeyini ve — kitapçığın kısalığına karşın — okurdan yana önemli ölçüde bir dayanaç ve istenç gücünü varsayar. Yazar ana düşünceleri en duru ve en yalın biçimde sunmak, ve bütün olarak alındığında, bu düşünceleri edimsel olarak ortaya çıkışlarının sıra ve bağıntıları içinde sunmak için kendini hiçbir sıkıntıdan esirgememiştir. Duruluk çıkarına, sunuş inceliğine en küçük bir biçimde dikkat etmeksizin sık sık yinelemelerde bulunmak bana kaçınılmaz göründü; o parlak kuramcının, L. BOLTZMANN'ın incelik sorunlarının terziye ve ayakkabıcıya bırakılması gerektiğini bildiren ilkesine büyük bir özenle sarıldım. Okuru konunun temelinde yatan güçlüklerden geri çektiğimi sanmıyorum. Buna karşı, kuramın görgül fiziksel altyapısını amaçlı olarak bir “üvey-anne” tavrı içinde ele aldım, öyle ki fizikle tanışık olmayan okur ağaçlar uğruna ormanı görmeyen gezgin gibi dolanıp durmasın. Kitapçığın birçoklarına bir kaç saatlik esinlendirici düşünce getirebilmesi dileği ile!

Aralık 1916

A. EINSTEIN

¹Özel görelilik kuramının matematiksel temelleri B. G. Teubner tarafından “Fortschritte der mathematischen Wissenschaften” başlıklı monografiler derleminde “Das Relativitätsprinzip” başlığı altında çıkan özgün incelemelerde — H. A. LORENTZ, A. EINSTEIN, H. MINKOWSKI tarafından — ve ayrıca M. LAUE'nin ayrıntılı kitabı “Das Relativitätsprinzip”te (Verlag Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig) bulunur. Genel görelilik kuramı değişmezler-kuramının ilgili matematiksel desteği ile birlikte yazarın “Die Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie” başlıklı broşüründe ele alınır (Joh. Ambr. Barth, 1916); bu broşür özel görelilik kuramı ile belli bir tanışıklığı varsayar.

On Beşinci Yayına Not

Bu yayımda genel olarak uzay sorunu üzerine ve ayrıca uzay düşüncelerimizin göreci bir bakış açısının etkisinden doğan aşamalı değişimleri üzerine görüşlerimin bir sunuluşunu bir beşinci Ek olarak, ekledim. Uzay-zamanın zorunlu olarak fiziksel olgusallığın edimsel nesnelerinden bağımsız olarak ayrı bir varoluş yüklenebilecek birşey olmadığını göstermeyi istedim. Fiziksel nesneler *uzayda* değildirler, ama bu nesneler *uzaysal olarak uzamlıdırlar*. Bu yolda ‘boş uzay’ kavramı anlamını yitirir.

9 Haziran 1952
EINSTEIN

Bölüm Bir

Özel Görelilik Kuramı Üzerine

§ 1 Geometrik Önergelerin Fiziksel İçeriği

Okul günlerinde, sevgili okur, hiç kuşkusuz sen de ÖKLİDES’in geometrisinin soylu yapısı ile tanıştın, ve titiz öğretmenler tarafından sayısız saatler boyunca yüksek merdivenlerinde kovalandığın o görkemli yapıyı belki de sevgiden daha çok saygı ile anımsıyor olmalısın. Bu geçmiş bilgiler ile, bu bilimin en kıyıda köşede kalmış önermesinin bile doğru olmadığını bildiren birine hiç kuşkusuz küçümseyerek bakardın. Ama eğer biri sana “Peki bu önermelerin doğru olduğu önesürümü ile ne demek istiyorsun?” diye soracak olsaydı, belki de bu gururlu güven duygusu hemen yitip giderdi. Bu soru üzerinde biraz daha duralım.

Geometri kendileri ile az çok açık tasarımları bağlayabildiğimiz düzlem, nokta ve doğru gibi belli temel kavramlardan, ve bu tasarımlardan ötürü “doğru/*wahr*” olarak kabul etme eğiliminde olduğumuz belli yalın önermelerden (belitler) yola çıkar. Sonra, aklanmasını kabul etmek zorunda olduğumuzu duyumsadığımız mantıksal bir yöntem temelinde, tüm geri kalan önermeler bu belitlere dayandırılır, e.d. tanıtılır. Bir önerme kabul edilen yolda belitlerden türetildiği zaman doğrudur [*richtig* oder *wahr*]. Tek tek geometrik önermelerin “doğruluğu” sorusu böylece belitlerin “doğruluğu” sorusuna indirgenir. Oysa son sorunun yalnızca geometrinin yöntemleri tarafından yanıtlanamaz olduğu değil, ama genel olarak kendinde anlamsız olduğu çoktandır bilinmektedir.

İki noktadan yalnızca *bir* doğru çizginin geçtiğinin doğru olup olmadığını soramayız. Yalnızca ÖKLİDES geometrisinin “doğru çizgi” dediği ve yalnızca noktalarından ikisi yoluyla ikircimsiz olarak belirlenme özelliğini yüklediği şekilleri ele aldığı söylenebilir. “Doğru/*wahr*” kavramı arı geometrinin bildirimlerine uymaz, çünkü “doğru” sözcüğü ile en sonunda her zaman “olgusal/*reale*” bir nesne ile bağdaşmayı belirtme alışkanlığındayızdır; oysa geometri kendi kavramlarının deneyim nesneleri ile ilişkisini değil, ama yalnızca bu kavramların kendi aralarındaki mantıksal bağlantıyı ele alır.

Buna karşın, niçin geometrinin önermelerini “doğru” olarak belirtme yönünde bir kıskırtma duyduğumuzu açıklamak kolaydır. Çünkü geometrik kavramlar az çok doğadaki sağın nesnelere karşılık düşer, ve bu sonuncular hiç kuşkusuz o

kavramların doğuşunun biricik nedenidir. Geometri yapısına olanaklı en büyük mantıksal tutarlılığı verebilmek için böyle bir yoldan uzak durmalıdır; örneğin herhangi bir uzaklıktaki iki işaretli pratik olarak katı *bir* cisim üzerinde görme alışkanlığı düşünme alışkanlıklarımıza derinden yerleşmiştir. Dahası, eğer üç noktanın görünürdeki yerleri gözlem yerinin uygun bir seçimi yoluyla tek bir göz ile gözlem için çakıştırılabilirse, bunları doğru bir çizgi üzerinde bulunuyor sayma alışkanlığında yızdır.

Eğer, düşünme alışkanlığımızı izleyerek, şimdi ÖKLİDES geometrisinin önermelerine pratik olarak katı bir cismin iki noktası, cismin uğrayabileceği herhangi bir konum değişiminden bağımsız olarak, her zaman aynı uzaklığa (açıklık) karşılık düşer biçimindeki tek bir önermeyi eklersek, ÖKLİDES geometrisinin önermeleri pratik olarak katı cisimlerin olanaklı görelî konumları üzerine önermeler olur.¹ Böyle bütünlenen geometri o zaman fiziğin bir dalı olarak ele alınır. Şimdi böyle yorumlanan geometrik önermelerin “doğrulukları” haklı olarak sorgulanabilir, çünkü bu önermelerin geometrik kavramlara altgüdümlü kıldığımız o olgusal şeyler için geçerli olup olmadıkları sorgulanabilir. Daha az sağın bir konuşma yoluyla, geometrik bir önermenin bu anlamdaki “doğruluğu” ile cetvel ve pergel ile bir çizim durumundaki geçerliğini anladığımızı söyleyebiliriz.

Hiç kuşkusuz geometrik önermelerin bu anlamda “doğrulukları”na ilişkin kanı doğallıkla yalnızca ve yalnızca tam olmaktan oldukça uzak deneyimler üzerine dayanır. İlk olarak geometrik önermelerin o doğruluğunu varsayacağız, öyle ki daha sonra irdelememizin son bölümünde (genel görelilik kuramında) bu doğruluğun sınırlı olduğunu ve ne düzeye dek sınırlı olduğunu görebilelim.

§ 2 Koordinatlar Dizgesi

Uzaklığın belirtilmiş olan fiziksel yorumu temelinde, ayrıca katı bir cismin iki noktası arasındaki uzaklığı da ölçümler temelinde saptayacak bir durumdayız. Bu amaç için gereken şey ne olursa olsun her durumda işe yarayacak ve bir ölçün birim olarak kullanılacak bir uzunluktur (S çubuğu). Eğer şimdi A ve B katı bir cismin iki noktası ise, onları birleştiren doğru çizgi geometrinin yasalarına göre çizilebilirdir; bundan sonra bu bileştirme çizgisin üzerinde S uzunluğunu A 'dan başlayarak B 'ye ulaşınca dek ardarda işaretleyebiliriz. Bu işaretlemelerin yineleme sayısı AB uzaklığının sayısal ölçüsüdür. Tüm uzunluk ölçümü buna dayanır.²

Bir olayın ya da bir nesnenin yerinin her uzaysal betimlemesi katı cismin (gönderme-cismi) o olay ile çakışan bir noktasının belirtilmesi üzerine dayanır.

¹Böylelikle bir doğal nesne de doğru çizgiye altgüdümlüdür. Bir katı cisim üzerinde A ve C noktaları verildiğinde B noktası AB ve BC uzaklıklarının toplamının olanaklı en küçük uzaklık olacağı bir yolda seçilirse, A , B ve C gibi üç nokta doğru bir çizgi üzerinde yatar. Bu tam olmayan öneri bu bağlamda yeterli olabilir.

²Burada hiç kuşkusuz ölçümün sonuna dek yapıldığı, e.d. bir tam sayı verdiği kabul edildi. Bu güçlük bölümlü cetvellerin kullanımı ile giderilir, ve bunların getirilmesi ilkedeki yeni bir yöntem gerektirmez.

Bu yalnızca bilimsel betimleme için değil ama gündelik yaşam için de geçerlidir. Eğer “Berlin’de, Potsdam Alanı’nda” yer bildirimini çözümlersem, şunları anlarım: Yerin bildiriminin bağıntılı olduğu katı cisim yeryüzüdür; onda “Berlin’deki Potsdam Alanı” işaretli, bir adı olan ve olayın uzaysal olarak onunla çakıştığı bir noktadır.³

Bu ilkel yer bildirme yolu yalnızca katı cisimlerin yüzeyleri üzerindeki yerleri tanıır, ve bu yüzeyin ayırdedilebilir noktalarının bulunuşuna bağlıdır. Ama yer bildirimi özünde hiçbir değişikliğe uğramaksızın, insan anlığının kendini bu sınırlamaların her ikisinden de nasıl kurtardığını görebiliriz! Örneğin eğer Potsdam Alanı üzerinden bir bulut geçiyorsa, o zaman onun yeryüzünün yüzeyi ile görelî yerini Alan üzerine buluta ulaşınca dek dikey olarak yükselen bir direk dikerek saptayabiliriz. Direğin ölçün birim ile ölçülen uzunluğu direğin ayak noktasının yerinin bildirilmesi ile birlikte yeri tam olarak verir. Bu örnek ile yer kavramının bir inceltilmesinin hangi yolda yer aldığını görebiliriz.

a) Yer bildiriminin bağıntılı olduğu katı cisme öyle bir yolda eklemek yapılır ki, tamamlanmış katı cisim yerini yerelleştirilecek nesneye ulaşır.

b) Yeri belirlemek için, sözü edilen işaret noktaları yerine bir *sayıdan* (burada direğin [birim] ölçün ile ölçülen uzunluğu) yararlanılır.

c) Buluta ulaşan direk hiç dikilmemiş olduğunda bile bulutun yüksekliğinden söz ederiz. Bizim durumumuzda, buluta ilişkin olarak yerdeki değişik konumlardan yapılan optik gözlemlerden, ve ışığın yayılma özellikleri göz önüne alınarak, direğin buluta ulaşabilmek için hangi uzunlukta olması gerektiği saptanır.

Bu irdelemeden görüldüğü gibi, eğer sayısal ölçümlerin kullanımı yoluyla kendimizi yer bildiriminin ilgili olduğu katı cisim üzerinde işaretlenen ve adlandırılan noktaların varoluşundan bağımsız kılmak olanaklı ise, bu yer betimleme için bir üstünlük sağlayacaktır. Ölçme fiziğinde buna Kartezyen koordinat dizgesinin uygulaması yoluyla erişilir.

Bu birbirine dik ve katı bir cisme bağlı olan üç katı, düzlem yüzeyden oluşur. Bir koordinat dizgesi ile görelî olarak herhangi bir olayın yeri ondan o üç düzlem yüzeye düşürülebilen üç dikeyin ya da koordinatın (x, y, z) uzunluklarının bildirilmesi yoluyla betimlenecektir (bkz. şekil 2, s 24). Bu üç dikeyin uzunlukları katı çubuklar ile ÖKLİDES geometrisinin yasa ve yöntemlerine göre belirlenen bir dizi işlem yoluyla saptanabilir.

Uygulamada o koordinat dizgesini oluşturan katı yüzeyler çoğunlukla çizilmez; dahası, koordinatların uzunluğu edimsel olarak katı çubuklar ile yapılan çizimler yoluyla değil, ama dolaylı olarak saptanır. Eğer fiziğin ve gökbilimin sonuçları bulanıklık içine düşmeyecekse, yer bildirimlerinin fiziksel anlamı her zaman yukarıdaki açıklamalara uygun olarak aranmalıdır.⁴

³Burada “uzaysal çakışma” anlatımının neyi imlediği konusunda daha öte bir araştırma zorunlu değildir; çünkü bu kavram tek tek olgusal durumlarda elverişli olup olmadığı konusunda görüş ayrılıklarının ortaya çıkamayacağı denli açıktır.

⁴Bu görüşlerin inceltilmesini ve değiştirilmesini ilkin bu kitapçığın ikinci bölümünde irdelenen genel görelilik kuramı zorunlu kılar.

Böylece şu sonuçları elde ederiz: Olayların her uzaysal betimlemesi böyle olayların uzaysal olarak ilişkili oldukları bir katı cisimden yararlanmayı gerektirir. Bu ilişki “uzunluklar” için ÖKLİDES geometrisinin yasalarının geçerli olduğunu varsayar ki, burada “uzunluk” fiziksel olarak bir katı cisim üzerindeki iki işaret yoluyla temsil edilir.

§ 3 Klasik Mekanikte Uzak ve Zaman

Eğer mekaniğin görevlerini ciddi olarak düşünmeksizin ve ayrıntılı açıklamalar olmaksızın “Mekanik cisimlerin uzaydaki yerlerini zaman ile nasıl değiştirdiklerini betimlemeyi üstlenir” diyerek formüle etseydim, o zaman duyuncumda kutsal duruluk tinine karşı öldürücü bir günah işlemiş olurum; ilkin bu günahların ortaya serilmesi gerekir.

Burada “yer” ve “uzay” ile neyin anlaşılacağı açık değildir. Biçimdeş olarak yol almakta olan bir demiryolu vagonunun penceresinde durur ve bir taşı fırlatmadan demiryolu seti üzerine bırakırım. Sonra (hava direncinin etkisini gözardı ederek) taşın doğru bir çizgide düştüğünü görürüm. Bu yaramazlığı bir patikadan gözleyen bir yaya taşın yeryüzüne parabolik bir eğride düştüğünü görür. Şimdi soruyorum: Taşın geçtiği “yerler” “gerçekte” doğru bir çizgi üzerinde mi yoksa bir parabol üzerinde mi yatar? Dahası, burada “uzayda” devim neyi imler? § 2’deki irdelemelerden yanıt kendiliğinden açıktır. İlk olarak, dürtüşçe kabul etmemiz gerektiği gibi, altında en küçük birşey düşünemediğimiz bulanık “uzay” sözcüğünü bütünüyle bir yana atar ve yerine “pratikte katı bir gönderme-cismi ile görelî devim”i geçiririz. Gönderme-cismi (demiryolu vagonu ya da toprak) ile görelî yerler önceki kesimde daha önce ayrıntılı olarak tanımlandı. Eğer “gönderme-cismi” yerine matematiksel betimleme için yararlı bir kavram olan “koordinat dizgesi”ni geçirirsek, şunu söyleyebiliriz: Taş vagona katı olarak bağlı bir koordinat dizgesi ile görelî olarak bir doğru çizgi çizerken, yere katı olarak bağlı bir koordinat dizgesi ile görelî olarak bir parabol çizer. Bu örnekte açıkça görülür ki kendinde [e.d. saltık] bir yol-eğrisi⁵ değil, ama yalnızca tikel bir gönderme-cismi ile görelî bir yol-eğrisi vardır.

Ama devimin *tam* bir betimlemesi ilkin cismin konumunu *zaman ile* nasıl değiştirdiğinin belirtilmesi ile ortaya çıkar, e.d. yol-eğrisi üzerindeki her nokta için cismin ne zaman orada bulunduğu belirtilmelidir. Bu veriler öyle bir zaman tanımı ile tamamlanmalıdır ki, bu zaman-değerleri bu tanım dolayısıyla ilkede gözlemlenebilir büyüklükler (ölçümlerin sonuçları) olarak görülebilmelidir. Eğer klasik mekaniğin zemininde durursak, örneğimiz için bu gereği şu yolda karşılayabiliriz. Sağın olarak özdeş yapıları iki saat düşünürüz; birini demiryolu vagonunun penceresindeki adam tutarken, ötekini patikadaki adam tutar. Her ikisi de elinde tuttuğu saat tıkladığı zaman taşın ilgili gönderme-cisminde tam olarak hangi konumda bulunduğunu saptar. Burada sağınlıktan ışığın iletim hızının

⁵Bu üzerinde cismin devindiği eşri demektir [yol-eşrisi, *Bahnkurve*]

sonluluğunun yol açtığı uzaklaşmayı göz ardı ettik. Bunu ve burada bulunan ikinci bir güclüğü daha sonra ayrıntılı olarak ele alacağız.

§ 4 GALİLEO Koordinatlar Dizgesi

İyi bilindiği gibi, GALİLEO-NEWTON mekaniğinin süredurum yasası adı altında bilinen temel yasası şöyle anlatılır: Başka cisimlerden yeterince uzaklaşmış bir cisim bir dinginlik ya da doğru bir çizgide biçimdeş devim durumunu sürdürür. Bu yasa yalnızca cisimlerin devimi üzerine değil, ama ayrıca mekanikte kabul edilebilir ve mekanik betimlemede kullanılabilir gönderme-cisimleri ya da koordinat dizgeleri üzerine de birşeyler söyler. Üzerlerinde süredurum yasasının hiç kuşkusuz en büyük yaklaşıklık derecesi ile uygulanabileceği cisimler görülebilir durağan yıldızlardır. Şimdi eğer yeryüzüne katı olarak bağlı bir koordinat dizgesi kullanırsak, o zaman bu dizge ile görelî olarak her durağan yıldız bir (astronomik) günün sürecinde çok büyük yarıçaplı bir daire çizer ki, bu süredurum yasasının anlatımı ile çelişki içindedir. Bu nedenle eğer bu yasaya bağlı kalırsak bu devimleri yalnızca durağan yıldızların onunla görelî olarak dairesel bir devim yerine getirmedikleri koordinat dizgeleri ile ilişkilendirmemiz gerekir. Bir koordinat dizgesinin devim durumu süredurum yasasının onunla görelî olarak geçerli olacağı bir yolda ise, bu dizgeye bir “GALİLEO koordinatlar dizgesi” denir. GALİLEO-NEWTON mekaniğinin yasaları ancak bir GALİLEO koordinat dizgesi için geçerlik isteminde bulunur.

§ 5 Görelilik İlkesi (Dar Anlamda)

Olanaklı en büyük duruluğu elde etmek için, biçimdeş olarak yol alan demiryolu vagonu örneğimize geri dönelim. Devimine biçimdeş bir öteleme deriz (“biçimdeş” çünkü değişmez bir hız ve yöndedir, “öteleme” çünkü vagon set ile görelî olarak yerini değiştirse de böylelikle bir çevrim yapmaz). Setten gözleendiği gibi havada doğru bir çizgide ve biçimdeş olarak bir kuzgun uçuyor olsun. Eğer yol almakta olan demiryolu vagonundan gözlersek, kuzgunun devimi hiç kuşkusuz başka bir hızda ve başka bir yönde bir devimdir; ama gene de doğru çizgide ve biçimdeştir. Soyut olarak anlatıldığında diyebiliriz ki: Eğer bir m kütlesi bir K koordinat dizgesi ile bağıntı içinde doğru bir çizgide ve biçimdeş olarak devinirse, o zaman ikinci bir K' dizgesi ile görelî olarak da doğru bir çizgide biçimdeş bir yolda devinir, yeter ki ikincisi K açısından biçimdeş bir öteleme devimini yerine getiriyor olsun. Önceki paragrafta açıklananlara göre buradan şunlar çıkar:

Eğer K bir GALİLEO koordinat dizgesi ise, o zaman K karşısında biçimdeş bir öteleme devimi durumunda olan her başka K' koordinat dizgesi bir GALİLEO koordinat dizgesidir. K' açısından GALİLEO-NEWTON Mekaniğinin yasaları tam olarak K açısından olduğu gibi geçerlidir.

İlkeyi şöyle anlattığımızda genellememizde bir adım daha ileri gitmiş oluruz: Eğer, K' dizgesi K dizgesi açısından biçimdeş ve çevrimsiz olarak devinen bir

koordinat dizgesi ise, o zaman doğa olayları K' açısından da tam olarak K açısından olduğu gibi aynı evrensel yasalara göre yer alır. Bu bildirimle “Görelilik İlkesi” deriz (dar anlamda).

Tüm doğal olayların klasik mekaniğin yardımı ile temsil edilebileceği kanısında olduğumuz sürece, bu görelilik ilkesinin geçerliğinden kuşku duyamazdık. Ama elektrodinamik ve optikteki yeni gelişmeler ile, klasik mekaniğin tüm doğal olayların fiziksel betimlemesi için bir temel olarak yeterli olmadığı giderek daha da açığa çıktı. Böylelikle görelilik ilkesinin geçerliği sorusu tartışmaya daha da uygun bir duruma geldi, ve bu soruya yanıtın olumsuz olabileceği olanaksız görünmedi.

Gene de başından bu yana görelilik ilkesinin geçerliğinden yana oldukça ağır basan iki evrensel olgu vardır. Klasik mekaniğin tüm fiziksel görüngülerin kuramsal sunuluşu için yeterince geniş bir temel sağlamamasına karşın, gene de ondan yana oldukça önemli bir doğruluk değeri kabul edilmelidir; çünkü bize gök cisimlerinin olgusal devimlerini hayranlık verici bir incelik ile sunar. Görelilik ilkesi öyleyse *Mekaniğin* alanında her durumda büyük bir sağnıklık ile geçerli olmalıdır. Ama böylesine büyük bir genellikteki bir ilkenin *bir* görüngü alanında böyle bir sağnıklık düzeyinde geçerli iken gene de bir başkası karşısında işlememesi *a priori* çok az olasıdır.

Şimdi ikinci uslamlamaya geçiyoruz ki, buna sonra bir kez daha geri döneceğiz. Eğer görelilik ilkesi (dar anlamdaki) geçerli değilse, o zaman birbiri ile görelî olarak biçimdeş devimde olan K , K' , K'' vb. GALİLEO koordinat dizgeleri doğa olaylarının betimlemesi için *eşdeğerli* olmayacaktır. O zaman doğa yasalarını ancak tüm GALİLEO koordinat dizgeleri arasında belirli bir devim durumunda olan *birinin* (K_0) gönderme-cismi olarak seçilmesi koşulu ile özellikle yalın ve doğal olarak formüle edilebilir olduklarını düşünmekten başka birşey yapmamız güçtür. O zaman bu dizgeye (doğa olaylarını betimlemedeki üstünlüklerinden ötürü), haklı olarak “saltık dinginlikte” ve geri kalan GALİLEO K dizgelerine ise “devimde” derdik. Örneğin eğer demiryolu setimiz K_0 dizgesi olmuş olsaydı, o zaman demiryolu vagonumuz bir K dizgesi olurdu ki, onun açısından K_0 açısından olandan daha az yalın yasalar geçerli olurdu. Bu daha az yalınlık K vagonunun K_0 karşısında (e.d. “edimsel olarak”) devimde olması olgusuna bağlı olurdu. K ile görelî olarak formüle edilmiş olan bu genel doğa yasalarında vagonun gidiş hızının büyüklük ve yönü zorunlu olarak bir rol oynayacaktır. Örneğin eksenî gidiş yönüne koşut olarak yerleştirilmiş bir org borusunun çıkardığı notanın eğer borunun eksenî bu yöne dik yerleştirilmiş olsaydı çıkacak olandan ayrı olacağını bekleyebiliriz. Şimdi güneş çevresindeki yörünge deviminden ötürü dünyamız saniyede yaklaşık 30 km hız ile yol alan bir demiryolu vagonuna benzetilebilir. Buna göre görelilik ilkesinin geçersizliği durumunda dünyanın herhangi bir kıpıdaki deviminin yönünün doğa yasalarına girmesi, ve dolayısıyla fiziksel dizgelerin davranışlarında uzayda dünya karşısındaki yönelimlerine bağlı olmaları beklenirdi. Çünkü dünyanın dönme deviminin hızının yönünde yıl boyunca yer alan değişimden ötürü, dünya bütün

yıl boyunca hipotetik K_0 dizgesi ile göreli olarak dinginlikte olamaz. Bununla birlikte, en dikkatli gözlemler bile hiçbir zaman dünyasal fiziksel uzayın bu tür eşyönsüzlüğünü, e.d. değişik yönlerin fiziksel bir eşdeğersizliğini göstermiş değildir. Bu görelilik ilkesinden yana güçlü bir uslamlamadır.

§ 6 Klasik Mekaniğe Göre Hızların Toplamı Teoremi

Sık sık sözünü ettiğimiz demiryolu vagonu raylar boyunca değişmez bir v hızı ile yol almaktadır. Demiryolu vagonunda bir adam vagonu uzunlamasına ve dahası gidiş yönünde bir w hızı ile yürüyerek geçmektedir. Gidişi sırasında adam set ile göreli olarak ileriye doğru ne denli çabuk, başka bir deyişle, hangi W hızı ile gider? Biricik olanaklı yanıt şu irdelemeden çıkıyor görünür:

Eğer adam bir saniye boyunca dingin kalacak olsaydı, set ile göreli olarak vagonun gidiş hızına eşit bir v uzaklığı kadar ilerlemiş olurdu. Ama yürüdüğü için bu saniye içinde bundan başka gerçekte vagon ile göreli olarak, ve dolayısıyla ayrıca set ile göreli olarak, yürüyüşünün hızına eşit bir w uzunluğu kadar daha yol alır. Böylece söz konusu saniyede set ile göreli olarak toplam

$$W = v + w$$

uzunluğunu geride bırakır. Daha sonra klasik mekaniğe uygun düşen hız toplamaları teoremini anlatan bu düşüncenin başını dik tutamayacağını göreceğiz; başka bir deyişle, yukarıda belirtilen yasa gerçekte doğru değildir. Ama şimdilik doğruluğu üzerine davranacağız.

§ 7 Işığın Yayılım Yasasının Görelilik İlkesi ile Görünürdeki Bağdaşmazlığı

Fizikte neredeyse ışığın boş uzayda yayılmasını belirleyen yasadaki daha yalını yoktur. Her okul çocuğu bilir ya da bildiğine inanır ki, bu yayılma doğru bir çizgi üzerinde $c = 300.000$ km/sn hızı ile yer alır: Her ne olursa olsun, büyük bir sağlamlık ile bu hızın tüm renkler için aynı olduğunu biliriz; çünkü durum böyle olmasaydı, bir durağan yıldızın karanlık komşusu tarafından örtülmesi sırasında değişik renkler için yayım-minimumu [*Emissionsminimum*] eşzamanlı olarak gözlenemezdi. Çifte-yıldızların gözlemine yönelik benzer bir irdeleme yoluyla, Hollandalı gökbilimci DE SITTER de ışığın iletilme hızının ışık yayan cismin devim hızına bağımlı olamayacağını gösterdi. Bu yayılma hızının “uzaydaki” yöne bağımlı olduğu sayılıtsı kendinde olasılık dışıdır.

Kısaca, c ışık hızının (boşlukta) değişmezliği yalın yasasına okul çocuğunun haklı olarak inandığını varsayalım! Bu yalın yasanın inceden inceye ölçüp biçen fizikçiyi en büyük düşünsel güçlüklerle düşürdüğü kimin aklından geçirdi? Bu güçlükler kendilerini şöyle gösterir.

Doğallıkla ışığın yayılım sürecini başka her süreç gibi katı bir gönderme-cismi ile (koordinat dizgesi) ilişkilendirmeliyiz. Böyle bir dizge olarak yine setimizi

seçelim. Üstündeki havanın pompalanıp uzaklaştırılmış olduğunu düşüneceğiz. Eğer bir ışık ışını set boyunca gönderilecek olursa, yukarıdakilere göre ışının ucu set ile görelilik olarak c hızı ile iletilir. Demiryolu vagonumuz yine raylar üzerinde v hızı ile, ve dahası ışık ışını ile aynı yönde ama doğallıkla çok daha yavaş olarak yol alır. Işık ışınının vagon ile görelilik olarak yayılma hızını araştıralım. Kolayca görüldüğü gibi burada önceki kesimdeki irdeleme yolu uygulamaya koyulabilir; çünkü vagon ile görelilik olarak yürüyen adam ışık ışınının rolünü oynar. Adamın set ile görelilik W hızının yerini burada ışığın set ile görelilik hızı almıştır; w ışığın vagona karşı aranan hızıdır, ve böylece onun için

$$w = c - v$$

sonucunu elde ederiz. Bir ışık ışınının vagon ile görelilik yayılma hızı böylece c 'den daha küçük çıkar.

Ama bu sonuç § 5'te sunulan görelilik ilkesini çiğner. Çünkü boşlukta ışığın yayılma hızı, başka her genel doğa yasası gibi, görelilik ilkesine göre, gönderme-cismi olarak demiryolu vagonu için gönderme-cismi olarak raylar için olan ile aynı olmalıdır. Ama, yukarıdaki irdelememize göre bu olanaksız görünür. Eğer her ışık ışını set ile görelilik olarak c hızı ile yayılıyorsa, o zaman tam bu nedenle öyle görünür ki ışığın yayılma hızı yasası vagon ile görelilik olarak başka türlü olmalıdır — ki görelilik ilkesi ile çelişir.

Bu ikileme karşısında ya görelilik ilkesinden ya da boşlukta ışığın yayılması üzerine yalın yasadaki vazgeçmek kaçınılmaz görünür. Bu noktaya dek tartışmayı dikkatle izlemiş olan okur hiç kuşkusuz doğallığı ve yalınlığı ile düşüncemize kendini neredeyse karşı çıkılamaz bir yolda dayatan görelilik ilkesinin dimdik ayakta durmasını, ama boşlukta ışığın yayılma hızı yasasının görelilik ilkesine uygun düşen daha karışık bir yasa ile yer değiştirmesini bekleyecektir. Ama kuramsal fiziğin gelişimi bu yolda ilerlenemeyeceğini gösterir. Çünkü H. A. LORENTZ'in devinen cisimler ile ilgili elektrodinamik ve optik olaylar üzerine çığır açıcı kuramsal araştırmaları bu alandaki deneyimlerin direnilemez bir zorunlulukla boşlukta ışık hızının değişmezliği yasasını karşı çıkılamaz bir sonuç olarak alan bir elektromanyetik olaylar kuramına götürdüklerini gösterir. Bu nedenle önde gelen kuramcılar görelilik ilkesi ile çelişen hiçbir görgül olgunun bulunamamış olmasına karşın bu ilkeyi yadsımak için daha büyük bir eğilim gösterdiler.

Bu noktada görelilik kuramı içeri girdi. Fiziksel zaman ve uzay kavramlarının bir çözümlemesi yoluyla, *gerçekte görelilik ilkesi ile ışığın yayılma yasası arasında en küçük bir bağdaşmazlığın bile olmadığı*, tersine dizgesel olarak bu her iki yasaya da sarılma yoluyla mantıksal olarak karşı çıkılamaz bir kurama ulaşılacağı açığa çıktı. Daha sonra sözünü edeceğimiz genişletilmiş biçiminden ayırt etmek için "özel görelilik kuramı" adını verdiğimiz bu kuram izleyen sayfalarda temel düşünceleri bağlamında sunulacaktır.

§ 8 Fizikte Zaman Kavramı Üzerine

Demiryolu setimiz üzerinde birbirinden uzak A ve B gibi iki noktada raylara yıldırım düşmüştür. Ve bu iki yıldırım düşmesinin *eşzamanlı olarak* yer aldığı önesürümünü ekleyeceğim. Eğer şimdi sana, sevgili okur, bu bildirimde bir anlam olup olmadığını sorarsam, beni kararlı bir “Evet” ile yanıtlayacaksın. Ama eğer şimdi senden bildirimin anlamını bana daha sağın olarak açıklamamı istersem, biraz düşündükten sonra bu soruya yanıtın ilk bakışta görüldüğü kadar kolay olmadığını göreceksin.

Belli bir süre sonra belki de kafandan şu yanıt geçecektir: “Bildirim anlamı kendinde ve kendi için açıktır ve daha öte bir açıklamaya gereksinmez; gene de, eğer somut durumda iki olayın eşzamanlı olarak yer alıp almadığını gözlemler yoluyla saptama görevini üstlenecek olsaydım, hiç kuşkusuz üzerine biraz düşünmem gerekecekti.” Ama bu yanıt bana şu nedenle doyum verici gelmez. Becerikli bir meteoroloğun ince irdelemeler yoluyla yıldırımın A ve B yerlerine her zaman eşzamanlı olarak düşmesi gerektiğini saptadığını varsayarsak, o zaman bu kuramsal sonucun edimselliğe karşılık düşüp düşmediğini sinama görevi kendini gösterirdi. “Eşzamanlı” kavramının bir rol oynadığı tüm fiziksel bildirimlerde buna andırımı bir durum vardır. Kavram fizikçi için ancak onun somut durumda geçerli olup olmadığını saptama olanağı verildiği zaman varolur. Böylece eşzamanlılığın öyle bir tanımı gerekir ki, bu tanım bize bu durumda fizikçinin her iki yıldırım düşmesinin eşzamanlı olarak yer alıp almadığına deneyler yoluyla karar vermesini sağlayabilecek yöntemi vermelidir. Bu istem yerine getirilmedikçe, eğer eşzamanlılık bildirimine bir anlam verebildiğime inanırsam bir fizikçi olarak (ve hiç kuşkusuz ayrıca fizikçi olmayan biri olarak!) aldatılmama izin vermiş olurum. (Sevgili okurdan bu nokta üzerinde tam bir kanı oluşturmadıkça daha ileri gitmemesini isteyeceğim.)

Sorun üzerine bir süre düşündükten sonra şimdi eşzamanlılığı sinamak için şu öneride bulunursun. AB bağlayıcı uzunluğu raylar boyunca ölçülmeli ve uzunluğun M orta noktasına bir gözlemci yerleştirilerek kendisine A ve B yerlerinin ikisini de aynı zamanda optik olarak saptamasına izin veren bir düzenek (örneğin birbirine karşı 90° eğimli iki ayna) sağlanmalıdır. Eğer gözlemci iki yıldırım düşmesini aynı zamanda algılasa, o zaman eşzamanlıdır.

Bu öneri çok hoşuma gitti, ama gene de sorunu bütünüyle açıklanmış olarak göremiyorum, çünkü şöyle karşı çıkmaya zorlandığımı duyumsuyorum: “Tanımın koşulsuzca doğru olurdu, ama ancak M ’deki gözlemcinin yıldırım düşmelerini algılamasını sağlayan ışığın $A \rightarrow M$ uzunluğu boyunca $B \rightarrow M$ uzunluğu boyunca olan aynı hız ile iletildiğini şimdiden biliyor olsaydım. Ama bu varsayımın bir yoklanışı ancak zamanı ölçmenin aracı daha şimdiden elimizde olmuş olsaydı olanaklı olurdu. Böylece sanki burada mantıksal bir döngüde deviniyormuşuz gibi görünür.”

Bir süre düşündükten sonra haklı olarak biraz kınayıcı bir bakışla bana şunu söylüyorsun: “Herşeye karşın tanımımı önceki gibi doğru görüyorum, çünkü gerçekte ışık üzerine kesinlikle hiçbir varsayım getirmez. Eşzamanlılığın tanımı

konusunda ileri sürülecek *tek bir* istem vardır, ve bu da tanımın her olgusal durumda bize tanımlanacak kavramın geçerli olup olmadığı konusunda görgül bir karar sunması gerektirğidir. Tanımımın bu istemi karşıladığı tartışma götürmez. Işığın $A \rightarrow M$ yolunu geçmek için ve $B \rightarrow M$ uzunluğunu geçmek için aynı zamanı gerektirmesi gerçekte ışığın doğası konusunda bir *varsayım ya da hipotez* (*Voraussetzung oder Hypothese*) değil, ama bir eşzamanlılık tanımına ulaşabilmek için kendi özgür görüşüme göre bulabildiğim bir *saptamadır* (*Festsetzung*). ”

Açıktır ki bu tanım yalnızca *iki* olayın değil, ama dilediğimiz denli çok sayıda olayın bildirimine sağın bir anlam vermek için kullanılabilir, ve bu olayların gönderme-cismi (burada demiryolu seti) ile görelî yerlerinden ayrı olarak yapılabilir.⁶ Böylece fizikte “zaman”ın bir tanımına da götürölürüz. Buna göre, özdeş yapımlı saatlerin rayların (koordinat dizgesinin) A , B ve C noktalarına koyulduklarını, ve kollarının konumlarının eşzamanlı olarak (yukarıdaki anlamda) aynı oldukları bir yolda ayarlandıklarını varsayalım. Bu durumda bir olayın “zamanı” ile bu saatlerden olaya (uzaysal) dolaysızca komşu olan birinin gösterdiği zamanı (kollarının konumunu) anlarız. Bu yolda ilkede gözleme açık her olaya bir zaman değeri verilir.

Bu saptama bir fiziksel hipotez daha kapsar ki, geçerliğinden karşıt bir görgül kanıt olmaksızın pek kuşku duyulmayacaktır. Eğer eşit yapılmış iseler tüm bu saatlerin “eşit hızla” gittikleri kabul edilmiştir. Sağın olarak formüle edersek, eğer gönderme-cisminin değişik yerlerine dinginlikte yerleştirilen iki saat birinin kollarının *belli* bir konumunun ötekini kollarının *aynı* konumu ile *eşzamanlı* (yukarıdaki anlamda) olacağı bir yolda ayarlanırsa, kolların eşit konumları bütününde eşzamanlıdır (yukarıdaki tanımın anlamında).

§ 9 Eşzamanlılığın Göreliliği

Buraya dek irdelemelerimizi bir “demiryolu seti” olarak belirttiğimiz belirli bir gönderme-cismi ile ilişkilendirdik. Çok uzun bir tren raylar üzerinde değişmez v hızı ile ve Şekil 1’de belirtilen yönde yol alıyor olsun. Bu trende yolculuk eden insanlar belli bir üstünlük ile treni katı bir gönderme-cismi (koordinat dizgesi) olarak kullanacaklardır; tüm olayları tren ile ilişkilendirirler. O zaman raylar boyunca yer alan her olay trenin belirli bir noktasında da yer alır. Ayrıca eşzamanlılık tanımı tam olarak sete göre olduğu gibi trene göre de verilebilir. Ama şimdi doğallıkla şu sorular doğar:

Demiryolu seti ile görelî olarak eşzamanlı olan iki olay (örneğin A ve B yıldırım düşmeleri) tren ile görelî olarak da eşzamanlı mıdır? Doğrudan doğruya yanıtın olumsuz olması gerektiğini göstereceğiz.

⁶Dahası, varsayıyoruz ki üç A , B ve C olayı değişik yerlerde A ’nın B ile ve B ’nin C ile eşzamanlı (yukarıdaki tanımın anlamında eşzamanlı) olacağı bir yolda yer aldığı zaman, $A - C$ olaylar çiftinin eşzamanlılığı için ölçütü de karşılanmış olur. Bu sayılı ışığın yayılma yasası konusunda fiziksel bir hipotezdir; eğer boşlukta ışık hızının değişmezliği yasasını ileri sürmek olanaklı olacaksa, koşulsuz olarak onaylanmalıdır.