

ALBERT EINSTEIN

Enis Doko*

HAYATI

albert Einstein 14 Mart 1879 yılında Almanya'nın Ulm şehrinde doğdu. Ailesi daha o altı haftalıkken Münih'e göç etti. Einstein, eğitim hayatına burada Luitpold Gymnasium'da başladı. 1894 yılında ailesi İtalya'ya göç etmesine rağmen, o hala Münih'te kaldı. 1895 yılında, ETH Zürih'te elektrik mühendisliği okumak için sınava girdi. Matematik ve fizik kısmında çok üstün başarı gösterse de, sınavın genelinde başarılı olamadı. 1896 yılında Alman vatandaşlığından çıktı, 1901 yılında İsviçre vatandaşı olana kadar ülkesiz kaldı. Aynı yıl tekrar başvurduğu Zürih Politeknik'e fizik ve matematik öğretmenliği okumak için kabul edildi. 1901 yılında üniversiteden mezun oldu. Üniversitede asistan olmak için çok uğraştı ama başaramadı, hocaları yeterince başarılı olduğunu düşünmüyordu. Bir süre lise öğretmenliği yaptı, daha sonra ünlü matematikçi Grassman'ın babasının yardımı ile Bern'deki patent ofisinde memur olarak çalışmaya başladı.

Fizik literatürüne fazla erişimi olmamasına rağmen, bu dönemde boş kalan zamanında çeşitli fizik problemleri ile meşgul oldu. Aynı yıllarda kendisinin kurduğu "Olimpia Akademisi" adlı küçük bir grupla felsefe okumaları yaptı. 1905 yılında "Moleküllerin Boyutlarının Belirlenmesi" isimli tezi ile doktora derecesini aldı. Aynı yıl dört tane, fizik tarihini değiştirecek makale yayın-

* Koç Üniversitesi Fizik Bölümü.

ladı. Birinci makalesinde erken dönem kuantum mekaniğinin temelini oluşturacak, ışığın parçacık karakterini ortaya koyan fotoelektrik etkisini ortaya attı.¹ İkinci makalesinde, atom teorisini kullanarak, Brown hareketi olarak bilinen, sıvı içinde polenlerin zig-zag hareketini açıkladı. Bu makale, atom teorisinin kabul edilmesinde büyük rol oynadı.² Üçüncü makalede, uzay-zaman algımızı tamâmen değiştiren, özel görelilik teorisini ortaya attı.³ Dördüncü makalesinde ise ünlü $E = mc^2$ formülünü öne sürdü.⁴

1908 yılında Zürih Üniversitesi'nde ders vermeye başladı. 1911 yılında Prag Üniversitesi'nde Teorik fizik profesörü oldu, bir sonraki yıl aynı unvanı taşımak üzere Zürih'e döndü. 1914 yılında Berlin Üniversitesi'ne atandı ve Kaiser Wilhelm Enstitüsü'nün başına geçti. 1916 yılında yeni bir yerçekimi kuramı niteliği taşıyan ve özel görelilik teorisini ivmeli sistemlere de genelleyen genel görelilik teorisini ortaya attı. 1921 yılında "fotoelektrik etki" makalesi ile Nobel ödülünü kazandı. 1933 yılında Berlin'deki işini bırakarak ABD'ye göç etti ve Princeton'da fizik profesörü olarak çalışmaya başladı. 1945 yılında emekli oldu. 18 Nisan 1955 yılında Princeton'da vefat etti.⁵

EINSTEIN'DAN ÖNCE UZAY-ZAMAN ALGISI

Fizik ve doğa felsefesi, hareket kavramı ile başlar. Hareket kavramı, parçacığın uzayda, zamana göre yer değiştirmesi olduğu için doğrudan uzay ve zamanla alakalıdır. Hareketin doğasını anlama çabası bundan ötürü ister istemez uzay ve zamanı anlamayı gerektirir. Hareketin özellikleri ve doğası ile alakalı kuramlar insanlık tarihi kadar eski olsa da, bu yasaları matematiksel anlamda ifade edip; gök cisimlerinden, dünyadaki cisimlerin hareketine kadar her alana başarı ile uygulayan ilk kişi Isaac Newton olmuştur. Isaac Newton evrende gördüğümüz bütün hareketin kendi adını taşıyan üç hareket yasası ve evrensel

1. Einstein, "Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt". *Annalen der Physik* 17 (6), 1905, 132–148.
2. Einstein, "Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen". *Annalen der Physik* 17 (8), 1905, 549–560
3. Einstein, "Zur Elektrodynamik bewegter Körper". *Annalen der Physik* 17 (10), 1905, 891–921
4. Einstein, "Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?". *Annalen der Physik* 18 (13), 1905, 639–64
5. Einstein'in kapsamlı bir biyografisi için, yakın dostu, ünlü bilim tarihçisi ve fizikçi Abraham Pais'in kitabına bakılabilir: Abraham Pais, *Subtle is the Lord: The Science and Life of Albert Einstein*, Oxford University Press, Oxford, 1982

yerçekimi yasası ile açıklanabileceğini ortaya atmış ve bu yasaları uygulayarak bir sürü görüngüyü başarı ile açıklamıştı. Newton'un birinci yasası şu şekilde ifade edilebilir: Eylemsiz bir referans sisteminden gözlemlendiği zaman bir cisim üstüne herhangi bir kuvvet etki etmediği sürece ya hareketsiz durur ya da düz bir çizgide sabit bir hızla hareket eder.

Referans sistemi, elinde cervel ve saat olan bir gözlemci olarak düşünülebilir. Eylemsiz referans sistemi Newton'a göre mutlak uzaya göre sabit bir hızla düz çizgide hareket eden yahut ona göre hareketsiz olan bir referans sistemidir. Diğer taraftan eylemsiz olmayan referans sistemleri mutlak uzaya göre ivmelenen referans sistemleridir.

Newton'un ikinci yasasına göre, eylemsiz referans sistemlerinden ölçüldüğü zaman ivme, cisim üstünde etki eden kuvvetle doğru, cismin kütlesi ile ters orantılı bir değere sahiptir.⁶ Onun üçüncü yasasına göre bir cisim ikinci bir cisme kuvvet uyguladığı zaman, ikinci cisim de birinci cisme eşit büyüklükte ters yönde bir kuvvetle etki eder.

Newton'un ilk iki yasası sadece eylemsiz referans sistemlerinde geçerlidir.⁷ Newton da bu sistemleri mutlak uzaya göre tanımladığı için, mutlak uzay ona göre fizik açısından çok ciddi bir rol oynamaktaydı. Ona göre mutlak uzay evrendeki bütün cisimleri içinde barındıran sonsuz büyüklükte bir kap gibidir; ayrıca en temel ve en özel referans sistemidir. Bütün cisimler aslında, mutlak uzaya göre yer değiştirir, ona kıyasla ivmelenirler. Cismin, gerçek hızı, mutlak uzaya kıyasla sahip olduğu hızdır. Dolayısı ile evrende sadece bir cisim olsa bile, bu cisim hala hareket ettirilebilir, belli hız ve ivmeye sahip olabilir. Evrendeki bütün maddeyi yok edersek, mutlak uzay dolayısı ile evren hala var olacaktır. Newton'a göre zaman da mutlaktır; cisimlerden etkilenmeden, evrende değişim olsun olmasın akmaya devam eder. Buna göre iki kusursuz çalışan saat bir kere senkronize edildi mi, sonsuza kadar senkronize kalır. Zamanın akışı bir referans sisteminden ötekine değişmez.

Newton'un ortaya koyduğu tablo her ne kadar sezgilerle uyumlu olsa da, kendi dönemindeki iki önemli felsefeci ve matematikçi Rene Descartes ve Wilhelm Leibniz tarafından eleştirilmiştir. Zira bu düşüncülere göre uzay dediğimiz şey, cisimler arası bir ilişkidir. Mutlak uzay diye bir şey yoktur ve evrendeki bütün maddeyi yok edersek, evreni de yok etmiş oluruz. Aynı şekilde mutlak hız diye bir şey de yoktur. Bir cismin hızı ancak başka bir cisme yani belli

6. Yasa matematiksel olarak: $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ şeklinde ifade edilebilir. Burada $\vec{a}$ cismin ivmesi, m cismin kütlesi, $\vec{F}$ cisme uygulanan kuvvettir.

7. Bu yasalar sadece eylemsiz referans sistemlerinde geçerli olsalar da, doğru matematiksel yaklaşımlarla, eylemsiz olmayan referans sistemlerini incelemekte de kullanabilirler.

bir referans sistemine göre ona bağlı olarak verilebilir. Evrende tek cisim kalırsa o zaman hareket de imkânsız olur.

Leibniz, Newton'un arkadaşı ve sözcüsü Clark'la ünlü tartışmalarında, "mutlak uzay aleyhinde, Ayırt Edilmezlerin Özdeşliği İlkesi (AEÖİ)"⁹nden hareketle ciddi argümanlar geliştirmiştir. Leibniz'e göre evrendeki bütün maddeyi bir yerden alıp, mutlak uzayda başka bir yere taşırsak, evrende gözlenebilir bir değişim olmayacaktır. Evrende yaşayan insanlar bu değişimi fark etmeyeceklerdir bile. Hareketten önceki evrenle, sonraki evrenin bütün özellikleri aynı olacaktır. İyi ama AEÖİ'ye göre bu iki evren aynı olmalıdır, dolayısı ile nesnel anlamda bir yer değiştirme söz konusu değildir ve mutlak uzay diye bir şey yoktur. Aynı şekilde evrendeki bütün maddeyi sâbit bir hızla hareket ettirsek, evrende yaşayan insanlar bu hareketi fark etmeyeceklerdir. Dolayısı ile Leibniz'e göre, AEÖİ'den örürü bu iki evren aynı olacağı için, ontolojik anlamda mutlak hız diye bir kavram olmayacaktır.

Newton mutlak uzaya yöneltilen bu eleştirilere cevap vermek için, "Newton'un kovası" olarak bilinen meşhur düşünce deneyini ortaya attı.¹⁰ Bir iple asılmış bir kova düşünelim. Kova hareketsizken, içindeki su da hareketsiz olacak ve su yüzeyi dümdüz olacak (Durum 1). Sonra yavaşça kovayı döndürmeye başlayalım. İlk birkaç saniyede su bu dönmeden etkilenmeyecek, yüzeyi hala dümdüz olacaktır. Bu anlarda kova ile su arasında bağıl bir hareket olacaktır (Durum 2). Ancak belli bir süre sonra su da kova ile aynı hıza ulaşacak, aralarındaki bağıl hareket sıfırlanacaktır. Bu noktada su kovanın kenarlarda yükselecek suyun yüzeyinde içbükey bir şekil oluşacaktır (Durum 3). Şimdi ise yavaşça kovayı durdurduğumuzu var sayalım. Kova durduktan sonra da bir süre daha su dönmeye devam edecek gene su ile kova arasında bağıl bir hareket olacaktır. Ancak aralarında ilk bağıl hareket olan durumdan farklı olarak, suyun yüzeyi hala içbükey şekilde olacaktır (Durum 4). Belli bir süre sonra su da duracak ve içbükey şekil kaybolacaktır. Bu noktada sorulması gereken soru Durum 1 ile Durum 3 ve Durum 2 ile Durum 4 arasındaki farkın nasıl açıklanacağıdır. Durum 1'de de Durum 3'te de kova ile su arasındaki bağıl hız sıfırdır ancak birinde kova içindeki suyun yüzeyi düz iken, diğerinde içbükeydir. Bu farkı kova ile su arasındaki bağıl hızla açıklamanın mümkün olmadığı açıktır. Newton'a göre Durum 1 ile Durum 3 arasındaki farkın nedeni açıktır. Birinde

8. Leibniz-Clarke tartışmasının tam metni için bakınız: H.G. Alexander (Ed.), *Leibniz Clarke Correspondence*, Manchester University Press, Manchester, 1956. Bu tartışmanın detaylı analizi için bakınız: Ezio Valiati, *Leibniz and Clarke: A study of their correspondence*, Oxford University Press, Oxford, 1997.

9. Bu ilkeye göre bütün özellikleri aynı iki ayrı nesnenin olması mümkün değildir.

10. Isaac Newton, *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy*, University of California Press, Berkeley, 1726, 412-413.

su mutlak uzaya göre dönmezken, diğer durumda su mutlak uzaya göre döndüğü için, Durum 1 ile Durum 3 birinden farklıdır. Dolayısı ile mutlak uzaya göre hareketi gözlemlemek pek ala mümkündür.

Newton'un üç yasası da bütün eylemsiz referans sistemlerinde eşit derecede geçerlidir. Mutlak uzayın da beş duyu ile algılanamadığı göz önünde bulundurulduğunda, bir cismin mutlak uzaya göre hangi hızda hareket ettiğini tesbit etmek mümkün değildir. Newton yasaları açısından eylemsiz referans sistemlerinin tamamı birbirinden ayırt edilemezler. Dolayısı ile mekanik bir deney yaparak bir eylemsiz sisteminin hızını tesbit etmek mümkün değildir. Meselâ sabit hızda hareket eden bir trenin içindeyseniz, bu trenin içinde bir mekanik deney yapıp trenin hareket edip etmediğini tesbit etmeniz mümkün değildir. Bu Galileo'nun "Görelilik Prensibi" olarak bilinir.

Newton'un ortaya attığı mutlak uzayının beş duyu ile tesbit edilememesi, mutlak konumun ve/ya mutlak hızın gözlemlenememesi ya da ölçülememesi; bütün bilginin duylara dayanması gerektiğini savunan ampirist (deneyci) felsefe ile ve XIX. yüzyılda ortaya çıkan, bir kavramın anlamlı olması için gözlemsel olarak doğrulanması ve ölçülebilmesi gerektiğini savunan pozitivist felsefe ile çelişmekteydi. Nitekim radikal ampirist George Berkeley ve pozitivist düşüncenin öncülerinden Earnst Mach, bu noktalardan hareketle mutlak uzay kavramını eleştirdiler. Berkeley, hareketin bir cismin başka bir cisme göre yer değiştirmesi olduğunu savunmuş, tek bir cismin mutlak uzayda hareketinin kavranamaz olduğunu savunmuştu. Mach daha da ileri gitmiş ve Newton yasalarını tamâmen görece harekete dayalı şekilde yazmaya çalışmıştı.¹¹

Peki, Newton'un kovası mutlak uzayın varlığını göstermiyor muydu? Berkeley de, Mach da, içbükey şeklin mutlak uzaya göre olan mutlak harekete göre değil, "uzak yıldızlara" göre olan hareketi sonucunda oluştuğunu iddiâ etmişlerdi. Newton, içbükey şeklin suyun kovaya göre olan bağıl hareketine göre olamayacağını göstermiş, ancak evrendeki diğer maddeye göre, ya da Mach'ın tabiri ile evrenin kütle merkezine göre bir bağıl hareketin bu içbükey şekilden sorumlu olamayacağını gösterememiştir. Mach'a göre kovayı çevirmek yerine, eğer kalkıp evreni kova etrafında çevirirsek, gene aynı şey olacak ve su yüzeyinde içbükey şekil belirecektir. Mach'ın spekülâtif iddiâsı, Newton kovasının mutlak uzayın varlığının kesin bir kanıtı olmadığını gösterse de; dönen evrenin, su yüzeyini içbükey yapabilecek bir fiziksel mekanizma o zamanlar bilinmediğinden örürü fazla ciddîye alınmamıştı.

1800'lerin ilk yirmi yılında Thomas Young ve Augustin Fresnel ışığın dalga gibi davrandığına fizik dünyasını iknâ ettiler. Dalgalar bir ortam üstünde

11. Earnst Mach, *The science of mechanics: a critical and historical account of its development*, The Open Court Publishing, Chicago, 1915.

hareket ederler. Meselâ ses dalgalarının ortamı hava, su dalgalarının ortamı sudur. Işığın bilinen bir ortamı olmadığı için, o dönemin fizikçileri bütün evreni dolduran, esir isimli bir maddenin ışığın ortamı olduğunu ortaya attılar. 1800'lerin ikinci yarısında, Maxwell elektrik ile manyetizmayı birleştirmiş, ışığın elektromanyetik bir dalga olduğunu göstermişti. Işığın hızı direk Maxwell denklemleri tarafından öngörülüyordu. Akla ilk gelen soru bu hızın hangi eylemsiz referans sistemine göre olduğuydu. O dönemdeki fizikçilere göre bu hız esirin referans sistemine göre idi ve çoğu fizikçi, esirin mutlak uzayda hareketsiz olduğunu düşündüğü için denklemlerde beliren ışık hızı mutlak uzaya göre oluyordu. Dolayısı ile Maxwell denklemleri Newton yasalarından farklı gözüküyordu ve bu denklemler sadece esirin referans sistemi için geçerliydi. Bu yüzden elektromanyetik teori yukarda bahsettiğimiz Galileo'nun görecelik ilkesine uymuyordu. Diğer bir deyişle ışığı kullanarak, bir eylemsiz referans sisteminin esire, dolayısı ile mutlak uzaya göre hızı ölçülebilirdi. Nitekim o dönemde bir sürü deneyci dünyanın esire göre bağıl hızını bulmaya çalışmış ama sonuç alamamışlardı.¹² Elektromanyetiğin Galileo ilkesini ihlâl etmesi ve mutlak bir eylemsiz referans sistemine işaret etmesi ilk bakışta mutlak uzay fikrinin zaferi gibi gözüküyordu. Ancak bu durum Einstein'ın sahneye çıkması ile değişecekti.

Einstein 1902-1905 yılları arasında "Olimpia Akademisi" grubunu oluşturan iki arkadaşı ile Mach, Hume, Poincare, Mill gibi çok sayıda felsefecinin eserlerini okumuş, özellikle Hume ve Mach'tan ciddi biçimde etkilenmişti. Mach'ın mutlak uzay eleştirisi konusunda haklı olması gerektiğini düşünen Einstein, elektromanyetik teorisini Galileo ilkesine uydurmanın yollarını aramaya başlamıştı. Kısa sürede, Einstein ışığın hızının sâbit olduğunu varsayarak, Elektromanyetik teoriyi Galileo ilkesi ile uzlaştırabileceğini fark etti. Bu da "Özel Görelilik Teorisi"nin doğmasına neden oldu.

ÖZEL GÖRELİLİK TEORİSİ VE SONUÇLARI

Özel görelilik kuramı, iki temel postulaya dayanır:¹³

1. Doğa yasaları bütün eylemsiz referans sistemlerinde aynıdır. (Görelilik ilkesi)
2. Işık hızı boş uzayda evrensel sâbittir ve onu yayan cismin hızından bağımsızdır.

12. Bu deneylerden en ünlüsü Michelson-Morley deneyidir.

13. Einstein'ın kendi dilinden özel ve genel görecelik kuramlarını okumak için: Einstein, *İzafiyet teorisi*, Say yayınları, 2012.

Bütün Özel görelilik teorisini bu iki ilkeden mantıksal olarak çıkarsamak mümkündür.¹⁴

İlk postulat, Galileo ilkesinin genelleştirilmiş halidir. Yukarda bahsettiğimiz gibi bu ilkeye göre mekanik yasalar, bütün referans sistemlerinde eşit derecede geçerlidir ve hiçbir mekanik deneyle bir eylemsiz referans sisteminin mutlak hızını tesbît etmek mümkün değildir. Einstein, mekaniğin yanına, elektromanyetik ve optiği de eklemiştir. Dolayısı ile görecelik ilkesine göre mekanik, optik ve elektromanyetik yasalar bütün eylemsiz referans sistemlerinde eşit derecede geçerlidir ve bundan dolayı hiçbir mekanik, optik ve/ya elektromanyetik deney yapılarak bir referans sisteminin mutlak hızı tesbît edilemez. Einstein bunu ayrıcalıklı bir eylemsiz sistemi olmadığı, bütün eylemsiz sistemlerinin eşit derecede özel olduğu şeklinde yorumladı. Özel Görelilik teorisinden sonra nitekim eylemsiz referans sistemleri, Newton'un birinci yasasının geçerli olduğu referans sistemleri olarak tanımlandılar.

İkinci postulat boş uzayda hareket eden ışığın hızını hangi eylemsiz referans sisteminden ölçerseniz ölçün aynı olacağıdır. Bu ilk bakışta çok şaşırtıcı bir iddiâdır; çünkü hem sağduyu hem de klasik fizikle çelişir. İddianın şaşırtıcılığını anlamak için bağıl hız kavramını bir örnekle inceleyelim. Otoyol kenarında duran bir çocuk düşünelim, bu çocuğun eylemsiz bir referans sistemi olduğunu varsayalım. Çocuğa göre 50 km/h hızda giden bir tır, yanında gene 50 km/h hızla giden bir motosiklet ve tıra karşı taraftan 50 km/h gelen bir otomobil düşünelim. Üç araç da çocuğa göre sâbit hızda gidiyor olsun, o zaman bu üç araç da eylemsiz referans sistemleri olacaklardır. Çocuğa göre 50 km/h giden motosiklet, tırın referans sisteminde (tırın şoförüne göre de diyebiliriz) hareketsiz gözükecektir.¹⁵ Diğer taraftan tırın şoförüne göre araç tıra 100 km/h hızla yaklaşacaktır.¹⁶ En azından sağduyu ve Newton mekaniği böyle söylüyor. Işık kabaca 300.000 km/s hızla hareket eder. Otomobili ve motosikleti ışıkla değiştirelim, tırın da 200.000 km/s çocuğa göre hızla hareket ettiğini var sayalım. Eğer yukarıdaki analizi tekrar edersek, tırın onla aynı yönde giden ışığın hızını 100.000 km/s, karşıdan gelen ışığın hızını 500.000 km/s ölçmesi gerekir. Ancak ikinci postulata göre bu yanlıştır. Araç yanında giden ışığın da, karşıdan gelen ışığın da hızını 300.000 km/s ölçecektir, yanda duran çocuk da

-
14. Özel Görelilik teorisinin teknik ve matematiksel bir analizi için: Patricia Schwarz ve John Schwarz, *Special Relativity: From Einstein to Strings*, Cambridge University Press, Cambridge, 2004.
 15. Newton fiziğine göre iki araç aynı yönde gidiyorsa, aralarındaki bağıl hız hızlarının farkı olacaktır.
 16. Farklı yönde hareket eden iki aracın arasındaki bağıl hız, hızlarının toplamı olacaktır.

aynı değerleri ölçecektir. Işığı hangi hızla kovalarsanız kovalayın o hep sizden 300.000 km/s hızla kaçacaktır.¹⁷

Einstein bu postulatı ortaya attığında elinde hiç deneysel kanıt olmamasına rağmen, çok sonra çeşitli deneylerle bu iddiâ deneysel olarak doğrulanmıştır. Bu deneylerden en ünlüsü, 1963'te Alvager'in yaptığı deneydir. Deneyde ışığın % 99.98 hızında hareket eden pion denen parçacıklar, iki yöne hareket eden foton olarak anılan iki ışık zerresine ayrılmaktadır. Klasik fiziğe göre pion'un hareket ettiği yönde ayrılan fotonun neredeyse iki ışık hızı hızında hareket etmesini, diğer yönde hareket eden fotonun ise ışığın % 0.02 hızında hareket etmesini bekleriz. Ancak, iki foton yani ışık zerreleri de ikinci postulatın iddiâ ettiği gibi, pion'un hızından bağımsız bir şekilde hep eşit hızda hareket etmektedir.¹⁸

Alınan yol, hız ile zamanın çapına eşittir. Aynı formül ışığın aldığı yol için de geçerli olacaktır: $x = ct$. Işık hızı sâbit bir rakam olduğuna göre bu denklem, konum ile zamanın birbirine orantılı olduğu şeklinde yorumlanabilir. Diğer bir deyişle zaman, mekân gibi davranır, uzayı zamandan ayırmak mümkün değildir.

Her ne kadar ikinci postulatın kendisi de sağduyuya aykırı olsa da, ilk postulat ile birlikte alındığında sonuçları gündelik hayattaki zaman ve mekan algımızı yerle bir etmektedir. Şimdi birkaç önemli sonuca göz atalım.

Eşzamanlılık kavramının göreliliği

Özel göreliliğin en önemli sonuçlarından biri zamanın mutlak olmadığı, referans sistemine bağımlı olması gerektirir. Bunu anlamak için eşzamanlılık kavramını inceleyelim. Newton fiziğine göre, bir gözlemciye göre iki olay aynı zamanda gerçekleştiyse bu iki olayın eşzamanlılığı evrenseldir. Evrenin hangi noktasından araştırırsanız araştırın, iki olayın eş zamanda gerçekleştiği kanâatine varacaksınız.

Ancak yukarıdaki iki postulat, mutlak eşzamanlılık kavramı ile uyumsuz. Bunu anlamak için basit bir düşünce deneyi yapalım. Bir meteorun üstünde duran bir astronot (Gözlemci 1) düşünelim; yanından büyük ama sâbit hızla hareket eden bir uzay gemisi geçtiğini düşünelim. Uzay gemisini içi boş bir kare oda gibi hayal edelim ve içinde bir astronot (Gözlemci 2) tam ortada duruyor olsun. Odanın iki ucunda, Gözlemci 2'den eşit uzaklıkta iki balon olsun. Gözlemci 2 aynı anda iki balona lazer ışığı ile ateş etsin. Birinci postulat gereği, ey-

17. Bu da klasik mekanikteki hız ekleme formüllerinin yanlış olduğu anlamına geliyor.

18. Alväger vs, "A Direct Terrestrial Test of the Second Postulate of Special Relativity". Nature 197 (4873), 1963, 1191.

lemsiz referans sistemlerinin hareketi tesbîr etmesi mümkün olmadığı için, Gözlemci 2 kendi bakış açısından hareketsiz olacaktır. Balonlar kişiden eşit mesâfede oldukları için, ışık hızı da ikinci postulat gereği sâbit kaynağın hızdan bağımsız sâbit hızla hareket ettiği için lazer ışığı aynı anda balonlara ulaşacak, bu şekilde iki balon da aynı anda patlayacaktır. Dolayısıyla ikinci gözlemciye göre iki balonun patlaması eşzamanlı iki olaydır.

Ancak Gözlemci 1, Gözlemci 2 ile aynı fikirde olmayacaktır. Ona göre uzay gemisi büyük bir hızla hareket ettiği için, uzay gemisinin ön tarafındaki balon lazer ışığından uzaklaşacak, diğer taraftan kuyrukta yerleştirilen balon, lazer ışığına yaklaşacaktır. Işık hızı sâbit olduğuna göre, Gözlemci 1'e göre, arka tarafta duran balon, ön tarafta duran balona göre daha çabuk patlayacaktır. Çünkü gemi ileri doğru hareket ettiğinden, arka balon ışığa çarptığında, ön balon uzaklaşmış olacak, ışık ona hâlâ yetişmemiş olacaktır. Yani iki olay eşzamanlı değildir.

İki olayın eşzamanlılığı konusunda hangi gözlemci haklıdır? Birinci postula göre iki gözlemci için de fizik yasaları aynı şekilde geçerlidir, dolayısı ile bir gözlemciyi diğer gözlemciye tercih etmek mümkün değildir. Sonuç kaçınılmazdır, iki gözlemci de eşit derecede haklıdır, eşzamanlılık kavramı görecedir.

Bu noktada birkaç önemli not düşmekte fayda var: Eğer eşzamanlı iki olay uzayda aynı noktada gerçekleşirse, o zaman bütün gözlemciler bu olayların eşzamanlı olduğu konusunda anlaşacaklardır. Dolayısı ile yukarıdaki örnekte, hem Gözlemci 1, hem Gözlemci 2, lazerlerin aynı anda ateşlendiği konusunda hem fikir olacaklardır. İkincisi, eğer iki olay arasında nedensel ilişki varsa, A olayı, B olayının nedeni ise, o zaman bütün gözlemciler A olayının, B olayından önce gerçekleştiği konusunda hem fikir olacaklardır. Yukarıdaki örneğimize geri dönersek, iki balonun patlama zamanının, eş olup olmadığı, eş değilse hangisinin önce patladığı konusunda gözlemciler anlaşamayacaklardır.¹⁹ Ancak lazerin ateşlenmesinin, balonun patlamasından önce olduğu konusunda bütün gözlemciler hem fikir olacaktır.²⁰ Son olarak, eşzamanlılığın göreliliğinin, optik bir yanılsama olmadığını, gerçek bir olgu olduğunu vurgulamakta fayda var. Gözlemciler sadece gördükleri ile değil, ölçtükleri ile de anlaşamayacaklardır.

Aslında yukarda bahsettiğimiz zamanın, mekân gibi davrandığı bilgisi karşısında, bu şaşırtıcı bir sonuç değildir. Zira eş konumluluk kavramının görece olduğu, Galileo zamanından beri bilinen bir durumdu ve mutlak uzayı reddeden bütün düşünürler eş konumluluğu görece görürdü. Yukarıdaki örneğimize geri dönersek, bu sefer uzay gemisindeki gözlemcinin (Gözlemci 2) elinde-

19. Evet, ön taraftaki balonun, arka taraftaki balondan önce patladığını ölçen bir gözlemci de bulmak mümkündür.

20. Doğal olarak, lazerin ateşlenmesi olayı, balonların patlamasının nedenidir.

ki bir topu yukarı atıp düştüğü zaman tuttuğunu düşünelim. Ona göre top yukarı çıkıp aynı noktaya dönmüştür ve topun elden çıkışı ile el tarafından tutuluş olayı eş konumludur. Ancak diğer taraftan Gözlemci 1'e göre uzay gemisi hareket ettiği için, astronotun eli de hareket edecek, top parabol hareketi yapacak ve bu yüzden havaya çıktığı noktanın konumu ile ele düştüğü noktanın konumu ayrı olacaktır. Dolayısı ile eğer mutlak uzay gibi bir koordinat sistemi yoksa eş konumluluk görece bir kavram olacaktır. Dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta ise eş konumluluğun sadece birinci postulatın bir sonucu olması ve ışığın hızının sâbit olmasını gerektirmediğidir. Işık hızının sâbit olması, uzayla zamanı birbirine bağladığı için, uzayın bu özelliği zamana da yansımaktadır.

Zaman Kısaldması

Klasik fizik ve sağduyuya göre zaman, evrensel bir hızda akar. Zamanın yavaşlaması veya daha hızlı akması diye bir şey söz konusu değildir. İki ideal (hiçbir şekilde bozulmayan) saat düşünelim. Bu iki saat eğer düzgün bir biçimde senkronize edilirse, saatlere ne yaparsak yapalım saatler senkronize olacaktır. Ancak özel göreliliğin temelini oluşturan yukarıdaki iki postulat doğru ise, zamanın akışının mutlak olduğu görüşü de yanlıştır. İki postulatın bizi bu sonuca nasıl götürdüğünü anlamak için yine basit bir düşünce deneyi yapalım.

Yukarıda bahsettiğimiz duruma geri dönelim. Geminin içinde bir aşağıda, bir de yukarıda iki paralel ayna olduğunu düşünelim. Aynaların mükemmel olduğunu, diğer bir deyişle ışığı hiç emmeyip aynen geri yansıttığını ve bir ışığın bu iki ayna arasında gidip geldiğini varsayalım. Işık hızı ve aynalar arasındaki mesafe sâbit olduğuna göre, ışığın yukarıdaki aynaya çıkıp oradan geri dönmesi hep eşit zaman aralıkları ile olacaktır. Bu matematiksel olarak klasik hız ve zaman denklemi ile şu şekilde ifade edilebilir: $t = \frac{x}{c}$. Burada t zaman, x ışığın yukarı ve aşağı doğru hareket ederken aldığı yol, c ise ışık hızıdır. Bu formül klasik "hız eşittir yol bölü zaman" denkleminin farklı bir biçimde ifâde edilmiş halidir. Burada c ve x sâbit olduğu için geçen zaman da sâbit olacaktır. Dolayısı ile bu ayna ve ışık sistemi dıştan bir müdâhaleye kapalı olduğu sürece hârika ayarlanmış bir saat gibi çalışacaktır. Kolaylık olması için ışığın bu hareketinin bir sâniyelik bir zaman aldığını varsayalım.²¹ Gemi içindeki astronot ışığın kaç defa aşağı yukarı hareket ettiğini sayarak ne kadar zaman geçtiğini öğrenebilir. Diyelim ki beş defa gitti geldi, o zaman içerdeki gözlemciye göre 5 saniyelik bir zaman geçmiş olacak.

21. Bu varsayımın doğru olması için, aynalar arası mesafe 150.000 km olması lazım! Dolayısı ile gerçek bir uzay gemisinde bu süre çok daha kısa olacaktır. Ancak süre uzunluğunun ne kadar olduğu buradaki analizimizi etkilemeyecektir.

Şimdi Gözlemci 1, yani uzay gemisi dışındaki gözlemcinin referans sisteminden ışık saatimizi inceleyelim. Dışarıdaki gözlemciye göre uzay gemisi hareket ettiği için, aynalar da uzay gemisi ile beraber konumlarını değiştirecekler. Dolayısı ile ışık yukarıdaki aynaya vardığında, yukarıdaki ayna gemiyle beraber hareket ettiği için, dik bir yol değil, aynanın uzaklaştığı miktarda ileri doğru hareket etmiş olacaktır. Geri yere döndüğünde de bu sefer alttaki ayna, üsteki aynadan ışık yansıdığı konumdan ileri hareket ettiği için, ışık gene düz değil, çapraz biçimde aşağı inecektir.²² Işığın yukarı çıkarken ve aşağı inerken, hafif yana doğru hareketi, elbette ki dimdik yukarı çıkıp inmesinden daha uzun bir yol almasına sebep olacaktır. Işık daha uzun yol alacağı için, ikinci gözlemcinin ölçtüğü zaman, içerdeki gözlemciye göre daha uzun olacaktır.

Bu durumu daha iyi anlamak için basit bir matematiksel analiz yapalım. Diyelim ki ışığın aldığı yol dimdik hareket ederken alacağı yolun bir buçuk katı olsun. Yukarda yazdığımız, hız ve yol cisiminden zaman formülüne geri dönelim: $t' = \frac{x'}{c}$. Burada x' ışığın uzay gemisi dışındaki gözlemciye göre aldığı yol, t' ona göre geçen zamanı ifade eder; ışık hızı c sabit olduğu için aynı olacaktır. Dışarıdaki gözlemcinin ölçtüğü uzaklık birincisinin 1,5 katı olduğuna göre: $x' = 1,5x$. Bunu yukarıdaki formüle koyarsak: $t' = \frac{x'}{c} = \frac{1,5x}{c} = 1,5 \frac{x}{c} = 1,5t$. Dolayısı ile dışarıdaki gözlemcinin ölçtüğü zaman, içerdeki gözlemcinin ölçtüğü zamanın bir buçuk katı olacaktır. İçerdeki gözlemci ışığın her turunda ' bir saniyelik bir zaman ölçerken, dışarıdaki gözlemci bir buçuk saniye ölçecektir. Dolayısı ile dışarıdaki gözlemciye göre, uzay gemisinde zaman daha yavaş geçecektir. Bu fenomen zaman kısalması olarak bilinir ve bir optik yanılsama değildir. Zaman gerçekten de hareket eden cisimlerde, duran cisimlere kıyasla daha yavaş geçmektedir. Bu deneysel olarak gözlemlenebilen bir fenomendir. Meselâ, "müon" denilen parçacıklar kozmik ışınlarda ışığın % 99 hızında hareket ederler. Bunların bozulma zamanı (yaşam ömrü), dünyada yaratılan düşük hızda hareket eden müonların 5 katıdır. Dolayısı ile dünyaya göre ışığın % 99 hızında hareket eden müonlar için zaman, dünyaya göre beş kat daha yavaş geçmektedir.

Uzunluğun kısalması

Zamanın uzay gibi davrandığına yukarda işaret etmiştik. Önceki bölümde gördüğümüz gibi, hareket eden referans sistemlerinde zaman daha yavaş geçmektedir. Bundan ötürü zaman aralıklarının uzunluğu, ölçümün yapıldığı re-

22. Işığın aldığı yol, yunan harfi λ 'ya benzer şekilde olacaktır.

ferans sistemine bağlıdır. Uzak zaman simetrisinden hareket ederek, uzunluğun da referans sistemine bağlı olmasını bekleriz. Nitekim bu beklenti doğrudur ve iki postulatımızın sonuçlarından biri de hareket eden cisimlerin uzunluğunun azaldığıdır.

Bu durumu daha iyi anlamak için yine bir düşünce deneyi yapalım ve tekrar uzay gemisi ve dışarıdaki astronom örneğimize geri dönelim. Diyelim ki Gözlemci 2, yani uzay gemisinin içindeki gözlemci, uzay gemisinin içinin uzunluğunu ölçmek istiyor. Bunu yapmak için ışığı kullanmaya karar veriyor ve geminin bir ucuna bir ayna yerleştiriyor. Daha sonra elinde lazer, kronometre ve ışık algılayıcısı ile geminin diğer ucuna geçiyor. Lazeri çalıştırıyor ve ışık aynadan yansyarak Gözlemci 2'nin elindeki ışık algılayıcısına geri geliyor. Işık algılayıcıya çarpar çarpmaz kronometre duruyor, böylece Gözlemci 2 ışığın yolculuğunu ne kadar zamanda tamamladığını ölçüyor. Bunun sonucunda ışığın alacağı yol, uzay gemisinin içinin uzunluğunun iki katına eşit olacaktır. Işık hızını ve ışığın ne kadar zaman yol aldığını bildiğimiz için, yol eşittir hız çarpı zaman formülünden ışığın aldığı yol kolayca tesbit edilebilir: $x = ct$. Geminin uzunluğu l bu değerın yarısı olacaktır: $l = \frac{ct}{2}$.

Gözlemci 1, yani dışarıdaki astronotun gözünden ışığın aldığı yol yine uzay gemisinin iki katına eşit olacaktır. Aynanın geminin ön tarafında olduğunu varsayarsak, ayna ışık ona varana kadar uzaklaşacağı için, ışığın ayna kadar alacağı yol gemiden uzun olacaktır. Ancak aynadan geri dönüşte, bu sefer ışık algılayıcısı ışığa doğru yaklaşacak, dolayısı ile ışığın alacağı yol geminin uzunluğundan az olacaktır. Aynanın uzaklaşması, ışık algılayıcısının yaklaşması ile karşılanacak, bu yüzden ışık yine uzay gemisinin uzunluğunun iki katı yolacaktır. Ancak bir önceki bölümde gördüğümüz gibi, hareket eden gözlemciler için zaman daha yavaş geçmektedir. Dolayısı ile Gözlemci 1'e göre Gözlemci 2'nin saati yavaş çalıştığı için, Gözlemci 1'e göre ışığın yol aldığı zaman Gözlemci 2'nin ölçtüğünden daha büyük olacaktır: $t' > t$ ($t \square$: Gözlemci 1'e göre geçen zaman). Dolayısı ile ışığın aldığı yol, Gözlemci 1'e göre daha uzun olacaktır: $x' = ct' > ct = x$. Diğer bir deyişle Gözlemci 1'e göre gemi daha uzun olacaktır: $l' = \frac{ct'}{2} > \frac{ct}{2} = l$.

Yukarıdaki düşünce deneyinden çıkarmamız gereken sonuç, uzunluk kavramının referans sistemine bağlı olduğudur. Hareket eden cisimlerin boyu, durağan referans sistemi tarafından daha kısa ölçülecektir. Eşzamanlılık kavramının referans sistemine bağlı olduğu bilgisi karşısında, aslında bu garip bir sonuç değildir. Zira uzunluk ölçme, aslında cismin ön ve arka noktasının konumlarının eşzamanlı olarak belirlenmesidir. Bu yüzden eşzamanlılık kavramı uzunluğun belirlenmesinde can alıcı bir öneme sahiptir. Eşzamanlılık kavramı bir eylemsiz referans sisteminden, bir diğer referans sistemine kıyasla değiştiğine göre, doğal olarak cismin uzunluğu da bir referans sisteminden diğerine değişecektir.

Yukarda bahsettiğimiz iki fenomen gibi, uzunluğun kısalması fenomeni optik bir illüzyon değildir. Cismin boyu, cismin hızıyla doğru orantılı olarak azalmaktadır. Işık hızına yaklaştıkça, cismin boyu sıfıra yaklaşmaktadır. Diğer önemli bir husus da, cismin boyunun sadece ama sadece hareket yönünde kısalmasıdır. Cismin harekete dik olan uzunluklarında herhangi bir değişiklik olmayacaktır. İki farklı gözlemci de harekete dik uzunluk ölçümlerinde anlaşacaklardır.

GENEL GÖRELİLİK KURAMI VE SONUÇLARI

Einstein her ne kadar özel görelilik kuramı ile bütün eylemsiz referans sistemlerinin eşit olduğunu öne sürüp mekân ile zamanın mutlaklığından kurtulsa da, Mach'ın istediği anlamda hareketi tamâmen bağıl bir konuma getirememişti. Çünkü Einstein'ın kuramında da, eylemsiz referans sistemleri, diğer referans sistemlerine göre çok daha özel bir statüye sahiptiler. Dahası ivme özel görelilikte hâlâ mutlak bir kavram gibi duruyordu. Einstein mutlak uzay kavramını ortadan kaldırsa bile, yerine mutlak bir uzay-zaman koymuştu. Einstein fizik yasalarının sadece bütün eylemsiz sistemleri için değil, bütün gözlemciler için aynı olması gerektiğine inanıyordu. Ancak fizik yasaları bütün gözlemciler için aynıysa, o zaman bir gözlemci hiçbir mekanik deneyle eylemsiz bir referans sisteminde olup olmadığını tesbit edememeliydi. Oysa bu ilk bakışta apaçık bir biçimde yanlış gözüküyordu. Zira basit bir topun hareketine bakarak bile, eylemsiz bir referans sistemde olup olmadığımızı anlayabiliriz gibi duruyordu. Meselâ uzay boşluğunda bir uzay gemisinde olduğumuzu düşünelim, eğer gemi eylemsiz bir referans sistemi ise, o zaman eğer topu serbest bırakırsak, top bırakıldığı yerde çakılı kalacak, hareket etmeyecektir. Diğer taraftan eğer uzay gemisi ivmeleniyorsa, yani eylemsiz olmayan bir referans sistemi ise, topu serbest bıraktığımız zaman top ivmelenerek hareket etmeye başlayacaktır. Dolayısı ile bir topu bıraktığımızda, bize göre hareketsiz durursa, yani serbest durumdayken bir anda ivmelenmezse o zaman biz eylemsiz bir referans sisteminde olduğumuzu söyleyebiliriz. Ancak eğer top bir anda, üstüne hiçbir kuvvet etki etmediği halde belli bir yöne ivmelenerek hareket etmeye başlıyorsa o zaman bulunduğumuz sistem, eylemsiz olmayan bir referans sistemidir. Eylemsiz olmayan, yani ivmelenen referans sistemlerinde serbest bırakılan cisimler, ivmenin ters yönünde hareket ederler. Bu günlük hayattan da bildiğimiz bir durumdur. Meselâ otomobil ivmelendiği zaman biz arkaya doğru hareket ederiz. Sadece bu hareketten dolayı, ivmelenen, yani eylemsiz olmayan bir referans sisteminde olduğumuzu anlayabiliriz.

Yukarıdaki örneğimizden de görüleceği gibi Einstein'ın projesi sağduyusal olarak imkânsız gözükse de, 6 yıllık bir çalışmadan sonra 1911 yılında yine sağ-

duyuları yerle bir eden bir çözüme ulaştı. Einstein, yerçekimi göz önünde bulundurulduğunda, eylemsiz-eylemsiz olmayan referans sistemi ayrımını ortadan kaldırılabileceğini fark etti. Bu çözüm aynı zamanda, Newton'un yerçekimi kuramının yerini alacak yeni bir yerçekimi kuramının doğmasına da sebep olacaktı.

Einstein'ın bu çözümünün, yani Genel Görelilik Kuramının temelinde Einstein'ın Eşdeğerlik İlkesi dediği ilke yatıyordu. Bu ilke şu şekilde ifade edilebilir:²³

İvme ile yerçekiminin etkilerini yerel olarak²⁴ birbirinden ayırmak mümkün değildir.

Bu ilkenin ne anlama geldiğini anlamak için gene birkaç basit düşünce deneyi yapalım. Yukarda bahsettiğimiz gibi uzay boşluğunda sâbit duran bir uzay gemisi düşünelim. Uzay gemisinin içindeki astronot (yerçekimi olmadığı için astronot havada uçacaktır), yukarda bahsettiğimiz gibi eğer bir topu serbest bırakırsa, top havada çakılı kalacaktır. Şimdi ikinci bir uzay gemisi daha düşünelim ve bu uzay gemisi dünyaya doğru serbest düşüyor olsun. Gemi aşağı doğru hızla düştüğü için içindeki astronot havalanacak, o da gemi ile eşit hızda ivmelenerek düşmeye başlayacaktır. Astronot eğer topu serbest bırakırsa, top da astronotla aynı hızla ivmeleneceği için, astronotla aynı hızda düşecek, bu sebeple astronot ile top arasında herhangi bir bağıl hız olmayacaktır. Top astronotun gözünde havada çakılı kalacaktır. Einstein'a göre yukarıdaki iki durum birbirine eşdeğerdir. Astronot eğer kapalı bir ortamda ise, hiçbir fiziksel deneyle yukarıdaki iki senaryodan hangisinin doğru olduğunu tesbît edemez. İki durum fizik yasaları açısından birbirine eşdeğerdir. Şimdi yukarıya doğru ivmelenen üçüncü bir uzay gemisi hayal edelim. Astronot gemi yukarı doğru ivmelendiği için geminin zeminine yapışacaktır. Şayet astronot topu serbest bırakırsa, gemi yukarı doğru ivmelendiği için, top da aşağı doğru hareket ediyormuş gibi gözükecek, o da geminin zeminine düşüp yapışacaktır. Bu asansörlerden bildiğimiz bir durumdur, asansörler yukarı doğru ivmelendikleri zaman, aşağı doğru çekiliyormuş gibi olur, zemine daha bir sıkı yapışırız.

Son olarak dördüncü bir uzay gemisinin bir gezegenin üzerinde sakince durduğunu düşünelim. Bu sefer yerçekiminin etkisi ile astronot zemine düşüp yapışacaktır. Eğer elinden topu bırakırsa, top sâbit bir ivme ile aşağı düşecektir. Einstein'a göre üçüncü ve dördüncü durumu fiziksel olarak birbirinden ayırmamız mümkün değildir. Astronotun dışarıya bakmadan, herhangi bir deney

23. Genel görelilik teorisinin teknik bir sunumu için: Wolfgang Rindler, *Relativity: Special, General and Cosmological*, Oxford University Press, Oxford, 2006.

24. Aslında söz konusu ilke, sonsuz küçüklükte bir alan için geçerlidir, yerel olmadan kasıt budur. Genel görelilik kuramında bütün kıyaslamalar yerel yapılmalıdır.

yapıp gemisinin bir gezegende durup durmadığını yahut yukarı doğru sâbit bir şekilde ivmelenip ivmelenmediğini tesbît etmesi mümkün değildir. İvme ile yerçekiminin etkisi birbirine eşdeğerdir. İşte yukarda verdiğimiz, birinci ve ikinci durum ile üçüncü ve dördüncü durumun birbirine eşdeğerliklerin genellemesi bizi eşdeğerlilik ilkesine götürür.

Peki, eylemsiz-eylemsiz olmayan referans sistemi ayrımının kalkması ile yukarıdaki ilkenin arasında nasıl bir ilişki vardır? Yukarda verdiğimiz ilk iki örneğe tekrar göz atalım. Uzayda hiç hareket etmeden duran uzay gemisinin referans sistemi ivmelenmeden durduğu için eylemsiz bir referans sistemidir. Diğer taraftan dünyaya serbest düşen uzay gemisi, ivmelenerek düştüğü için eylemsiz olmayan bir referans sistemidir. Ancak Eşdeğerlik İlkesi gereğince, bu iki durum fiziksel açıdan birbirine eşdeğerdir. Fiziksel açıdan bir fark olmadığına göre, iki örnekteki eylemsiz ve eylemsiz olmayan ayrımı fiziksel olarak anlamlı bir ayırım değildir.

Aynı durum üçüncü ve dördüncü örneğimiz için de geçerlidir. Gezegenin üstünde hareketsiz duran uzay gemisi eylemsiz bir referans sistemidir, diğer taraftan yukarı doğru sâbit hızla ivmelenen uzay gemisi eylemsiz bir referans sistemi değildir. Ama iki sistem de fiziksel olarak birbirine eşdeğerdir. Einstein eylemsiz olmayan sistemlerin, eş dağılımlı yerçekimi altında eylemsiz referans sistemlerine denk olduğunu göstererek fizik yasalarının bütün referans sistemleri için eşit derecede geçerli olduğunu göstermeyi başarmıştı.

Genel görelilik kuramının da tıpkı özel görelilik gibi uzay zaman algımızı değiştiren bazı sonuçları oldu. Şimdi bunlardan birkaçına göz atalım.

İşığın Bükülmesi

İvmelenen bir sistem ile yerçekimi etkisi altındaki bir sistemi birbirinden mekanik bir deneyle ayırmak mümkün olmasa da, ilk bakışta ışığı kullanarak ayırmak mümkünmüş gibi gözükmektedir. Bunun sebebini anlamak için tekrar bir düşünce deneyine göz atalım.

Bir uzay gemisinin bir ucuna ışık kaynağı koyalım. Geminin sâbit durduğunu varsayalım. Işık kaynağını çalıştırdığımız zaman, ışık düz çizgide hareket edip geminin karşı duvarına çarpacaktır. O çarptığı noktayı işaretleyelim. Şimdi gemiyi yukarı doğru sâbit bir ivme ile ivmelendirelim. Işık yine kaynaktan çıkıp karşı duvara çarpacaktır, ancak ışık kaynaktan duvara giderken, gemi belli bir miktar yukarı hareket ettiği için ışık işaretlediğimiz noktanın altına bir yere çarpacaktır. Diğer bir deyişle, ışık gemi içinden bükülmüş, parabolik bir yol izlemiş gibi gözükcektir.

Ancak, Newton'un yerçekimi kuramına göre gezegen üstünde duran uzay gemisinde aynı durum geçerli olmayacaktır. Işık dümdüz hareket edecek ve bükülmeyecektir. Bu durum, her ne kadar eşdeğerlilik ilkesini yalanlıyormuş/çürütüyormuş gibi gözüксе de Einstein burada da beklenmedik bir hamle yapmış; Eşdeğerlilik ilkesinin değil, Newton'un yerçekimi kuramının yanlış olması gerektiğini öne sürmüştü. Bu Einstein'ın yeni yerçekimi kuramının doğumuydu. Einstein'a göre ışık gezegenin üstünde iken de, tıpkı ivmelenen gemideki gibi bükülmeliydi. Dünya'nın yerçekimi alanı çok zayıf olduğu için, dünya yüzeyinde ışığın büküldüğünü tesbît etmemiz mümkün değildi. Ancak Einstein güneşin kütlesi, gözlemlenebilir bir bükülme yaratacak kadar büyük olduğu için, onun etrafından geçen ışığa bakarak ışığın yerçekimi etrafında büküldüğünü görebileceğimizi savundu. Güneş tutulması sırasında, güneşin kendi ışığı engellendiği için, uzak yıldızlardan gelen ışığın, güneş etrafından geçerken ışığının bükülüp bükülmediği gözlemlenebilirdi. Nitekim 29 Mayıs 1919 günü, Einstein'ın Eşdeğerlilik İlkesini ortaya atmasından 8 yıl sonra oluşan güneş tutulması sırasında, Arthur Eddington ve ekibi Afrika'da güneş etrafından geçen ışığı incelemiş ve ışığın Einstein'ın öngördüğü miktarda büküldüğünü göstermişlerdi. Bu Genel Görelilik kuramının zaferiydi. Einstein haklıydı ve yanlış olan Eşdeğerlilik İlkesi değil, Newton yerçekimi kanunu idi.

Yerçekimsel Zaman ve Uzunluk Kısaldması

Genel görelilik teorisinin en önemli sonuçlarından biri yerçekimidir. Bundan ötürü bir diğer önemli sonuç, ivmenin de zamanın akışını ve cisimlerin boyutunu etkilediğidir. Bu durumu anlamak için yine basit bir düşünce deneyi yapalım.

Bir astronotun gemisinin dünyaya doğru serbest düştüğünü varsayalım. Biri atmosfer üstünde, biri de dünya yüzeyine çok yakın bir noktada, elinde metre ve saat taşıyan iki astronot düşünelim. Serbest düşüş yapan uzay gemisi, yukarıda bahsettiğimiz gibi, eşdeğerlilik ilkesi gereği bir eylemsiz referans sistemidir. Genel görecelik teorisi lokal bir teori olduğu için, saat karşılaştırmaları sadece aynı noktada yapılabilir. Dolayısı ile serbest düşen astronot iki saati, kendi saati ile ancak yanlarından geçerken karşılaştıracaktır. Düşen astronot, önce atmosfer üstündeki saati görecek, daha sonra da dünya yüzeyine yakın saati görecektir. Üstteki saatten, alttaki saate hareket ederken, astronot serbest düştüğü için hızı durmadan artacaktır. Bu sebeple ikinci saatin yanından geçerken, ikinci saatin kendisine göre, ilk saate kıyasla daha hızlı gittiğini göreceklerdir. Astronota göre iki saat da hareket ettiği için, ikisinde de zaman daha yavaş akacaktır. Ancak aşağıdaki saatin hızı daha fazla olduğu için, onun saati çok

daha yavaş olacaktır. Yerçekimi aşağıda daha fazla olduğuna göre, bu düşünce deneyinden çıkarmamız gereken sonuç; zamanın, yerçekiminin daha güçlü olduğu yerde daha yavaş geçtiğidir. Benzeri bir mantıkla, serbest düşen gözlemcinin gözünde aşağıdaki gözlemci daha hızlı hareket ettiği için, onun elindeki cetvel de yukardakine göre daha kısa olacaktır.

İvmenin etkileri, yerçekiminden ayırt edilemediği için aynı durum ivme için de geçerli olacaktır. Dolayısı ile ivme de zamanın yavaş geçmesine sebep olacaktır.

Bu fenomen de optik bir illüzyon değildir ve deneylerle açıkça tesbât edilmiş bir durumdur. Uçaklara konulup yukarı çıkarılan atomik saatler, yerdeki saatlere göre daha hızlı çalışmaktadır. Bu durum defalarca test edilmiştir. Yerçekimsel zaman kısılması o kadar belirgin bir fenomendir ki, GPS uydularının saati, yerel saatlere göre daha hızlı çalıştıkları için, saatleri devamlı olarak düzeltilmektedir. Aksi takdirde bu uydular zaman farkında dolayı doğru bilgi verememektedir. Zaman kısılması beş duyu ile gözlemlenemeyecek kadar az olsa da, 1 metre gibi küçük mesâfelerde oluşan zaman kısılmaları bile laboratuvar da tesbât edilmiştir. Diğer taraftan uzunluk kısılmasının şu ana kadar deneysel olarak ne lehinde ne de aleyhinde bir veri mevcut değildir.

Geometri Olarak Yerçekimi

XIX. yüzyıla kadar Öklid geometrisinin tek tutarlı geometri olduğu zannediliyordu. Evrensel olarak bütün liselerde öğretilen bu geometri, beş tane aksiyoma dayanır. Bu aksiyomlardan beşincisi şöyledir: İki boyutlu uzayda verilen herhangi bir D doğrusu için, o doğruda yatmayan herhangi bir A noktasından, o doğruyu kesmeyen sadece bir doğru geçer ve bu doğru D 'ye paraleldir. XIX. yüzyılın başlarında, Bolyai, Lobaçevski ve Rieman bu postulatın değiştirilmesi ile, başka tutarlı geometriler elde edilebileceğini gösterdiler. Meselâ yukarıdaki aksiyom şöyle değiştirilebilir: İki boyutlu uzayda verilen herhangi bir D doğrusu için, o doğruda yatmayan herhangi bir A noktasından, o doğruyu kesmeyen en az iki tane bağımsız doğru geçer. Bu yeni aksiyom, diğer dört Öklid Aksiyomu ile birleştirildiği zaman, yepyeni tutarlı bir geometri ortaya çıkar. Bu geometride bir sürü yeni özellik açığa çıkar. Meselâ üçgenlerin iç açılar toplamı her zaman 180 dereceden küçüktür, dairenin çevresinden büyüktür, Pisagor teorisi geçersizdir vs. Bu geometri Bolyai-Lobaçevski geometrisi ya da hiperbolik geometri olarak bilinir. Diğer taraftan beşinci aksiyom şu şekilde de ifâde edilebilir: İki boyutlu uzayda verilen herhangi bir D doğrusu için, o doğruda yatmayan herhangi bir A noktasından geçip, D doğru-sunu kesmeyen doğru yoktur. Bu aksiyom diğer dört Öklid Aksiyomu ile bir-

leştirildiğinde, Riemann geometrisi (küresel geometri olarak da bilinir) açığa çıkar. Bu geometride üçgenin iç açılar toplamı her zaman 180 dereceden büyüktür ve dairenin çevresinden hep küçüktür. Kürenin yüzeyi, bu geometrinin çok güzel bir iki boyutlu modelini sunar. Küre yüzeyinde doğruları, meridyen gibi büyük daireler oluşturur. Bunlar küre yüzeyindeki iki nokta arasındaki en kısa mesâfeyi verirler. Bunlara jeodezik de denir. Jeodezik Öklid olmayan geometrilerde iki nokta arasındaki en kısa mesâfeyi veren çizgidir ve bu uzaylarda bu çizgiler doğrudan farklı bir şekil alırlar. Jeodezikleri kullanarak küre yüzeyinde üçgen çizerseniz, elde edeceğiniz üçgenin iç açılar toplamı 180 dereceden büyük olacaktır, hatta üç açısı doksan derece olan üçgen bile çizmek mümkündür.

Öklid olmayan geometrilerin, genel görelilik kuramı ile ilişkisini anlamak için başka bir düşünce deneyi yapalım. Sâbit yüksek bir hızla dönen bir disk düşünelim. Diskin üstünde ve diskin dışında duran, ellerinde cetvel bulunan iki kişi düşünelim. İkisi de diskin yarıçapını ve çevresini ölçmeye çalışsınlar. Yerde sâbit duran gözlemci, çevreyi ($\mathcal{C}$) ve yarıçapı (r) ölçtüğten sonra, çevre ile yarıçap arasında ünlü $\mathcal{C} = 2\pi r$ eşitliğini bulacaktır. Ancak dönen diskin üstündeki gözlemcinin metresi dönme hızı ile orantılı olarak uzunluk kısalması fenomeni sonucunda kısalacağı için, dışardaki adamdan daha büyük bir değer okuyacaktır. Dolayısı ile platformdaki gözlemcinin ölçtüğü çevre, platform dışındaki adamın ölçtüğünden büyük olacaktır: Yukarıda belirttiğimiz gibi cisimler hareket yönünde kısalır, ancak harekete dik olan yönlerde bir değişiklik olmaz. Diskin çapı dönme yönüne dik olduğu için, onu ölçerken metre kısalmayacak ve diskin üstündeki adam, diskin dışındaki adamla aynı yarıçap değerini bulacaktır: r . Ancak bu, platformdaki gözlemci için klasik çevre değerinin geçerli olmadığı anlamına geliyor: Diğer bir deyişle platformdaki adam için Öklid geometrisinin formülleri geçerliliğini kaybetmektedir. Platformu, onun referans sisteminde Öklid olmayan geometriler tarif etmektedir.

Dönme hareketi ivmeli bir harekettir. Dolayısı ile yukarıdaki düşünce deneyinden çıkarmamız gereken sonuç, ivmelenen cisimler etrafında uzayın Öklid olmayan denklemlerle tarif edilmesi gerektiğidir. Eşdeğerlik ilkesi gereği yerçekimi ivmeye eşdeğer olduğu için, yerçekiminin etrafında da uzayın geometrisinin Öklid olmayan geometriler tarafından tarif edilmesi gerektiği ortaya çıkar. Aslında bu sonuç ışığın yer çekiminin etkisi altında büküldüğü bilgisi ışığında çok garip değildir. Zira ışık, Fermat ilkesi gereği her zaman iki nokta arasındaki en kısa yolu izler. Bu da yer çekimi etkisi altında, en kısa yolun düz çizgi olmadığı, yani uzayın yapısının Öklid olmadığı anlamına gelir. Görelilik kuramında, zamanı uzaydan ayırmak mümkün olmadığı için, sadece mekânın değil, yer çekimi etrafındaki uzay-zamanın da Öklid olmayan bir yapıya sahip olduğunu söyleyebiliriz.

Yerçekiminin temeli kütle olduğuna göre uzay-zamandaki bu değişimin temel sebebi olarak kütleyi belirtebiliriz. Bu genelde kütlenin uzay-zamanı bükmesi olarak tanımlanır. Bu durumu daha iyi anlamak için, uzay-zaman bir çeşit çarşaf gibi düşünülebilir. Üstüne herhangi bir cisim koyduğumuz zaman, çarşaf bükülür. İşte uzay-zaman da, kütlenin etkisi altında bükülür. Tabi uzay-zamanın bükülmesi bundan çok daha karmaşıktır, zira çarşaf iki boyutluyken, uzay-zaman dört boyutludur.

Bu analiz eşliğinde genel görelilik kuramı şu iki önerme ile özetlenebilir:

1. Kütleler, etrafındaki uzay-zamanı bükerek, onun Öklid olmayan geometriler ile ifâde edilen eğri bir yapıya bürünmesine sebep olur. Uzay-zamanın eğriliği, maddenin dağılımına bağlıdır. Bütün maddelerden uzakta, uzay-zaman Öklid²⁵ geometrisine uyan özel görelilik ile tarif edilir.
2. Işık dâhil bütün cisimlerin serbest düşerken takip ettiği yol, uzay-zamandaki jeodeziklere tekâbül etmektedir.

İkinci önermenin ifâde ettiği şey aslında yerçekiminin gerçek bir kuvvet olmadığıdır. Yukarıda da ifâde ettiğimiz gibi, Newton'un birinci yasası gereği, üstüne hiçbir kuvvet etki etmeyen cisimler düz bir çizgi, yani Öklidyen bir jeodezik²⁶ üstünde sâbit hızla hareket ederler. Einstein'a göre aslında kütleler birbirini belli bir kuvvetle çekmezler. Kütle, etrafındaki uzay-zamanı bükerek geometrisini değiştirir. Dolayısı ile bu kütle etrafında artık jeodezik düz çizgi olmayacak, eğri bir çizgi olacaktır. İşte normal şartlarda düz çizgiden hareket eden üstüne kuvvet etki etmeyen cisim, kütle etrafında bu eğri çizgide hareket edecektir. Bu ise sanki diğer kütle tarafından çekiliyormuş gibi bir görüntü oluşturacaktır. Bu durumu yine basit bir düşünce deneyi ile daha iyi anlayabiliriz. Dünya yüzeyinde, ekvatorda birbirinden uzakta iki kişinin durduğunu varsayalım. Bu iki kişi büyük sâbit bir hızla üstünde bulundukları meridyeni izleyerek kuzey kutbuna hareket etsin. Meridyenler küre üstündeki büyük dâireler oldukları için yukarıda değindiğimiz gibi dünya yüzeyinin jeodeziği görünmesini görmektedirler. Yani iki kişi de jeodeziği izlemektedir. Herhangi bir küresel haritaya bakarak görebileceğimiz gibi, meridyenler kuzey kutba yaklaştıkça birbirlerine yaklaşırlar ve kuzey kutupta birleşirler. Dolayısı ile jeodeziği izleyen ve aslında birbirinden hiç etkilenmeyen bu iki kişi zaman geçtikçe birbirlerine yaklaşıacaklar, hatta artan bir hızla ivmelenerek birbirlerine yaklaşıacaklardır. Aslında dünya yüzeyinin görünmez olduğunu varsayarsak, dışardan bu iki gözlemci birbirini ivmelenerek çekiyormuş gibi bir görüntü verecektir.

25. Daha doğru bir ifade ile Pseudo-Öklidyen bir geometri.

26. Öklid geometrisinde iki nokta arasındaki en yakın mesafe olan jeodezik düz bir çizgidir.

Bundan örürü bu iki kişi arasında gerçekte var olmayan bir kuvvet etki ediyor-muş gibi bir görüntü oluşacaktır. Bu görüntü, dünya yüzeyinin Öklid olmayan bir geometriye sahip olmasının sonucudur. İşte uzay zamandaki kütleler de, bu iki kişi gibi birbirinden bağımsız olarak önlerindeki jeodeziği izlerler. İki kütle birbirini çekiyormuş gibi görüldüğü zaman, aslında Öklid olmayan bir jeodezikte serbest bir şekilde hareket etmektedir. Aynı durum eşitlik ilkesi gereği ivmelenen cisimler için de geçerlidir.

Bu durum ivmelenen referans sistemleri ile eylemsiz referans sistemlerinin sebep ilk bakışta farklı gözüktüklerini de açıklamaktadır. Aslında iki referans sistemi de jeodeziği izleyen, serbest referans sistemleridir. Aralarındaki tek fark eylemsiz referans sistemlerinin Öklidyen, ivmeli sistemlerin Öklidyen olmayan geometride hareket eden sistemler olmasıdır.

BÜYÜK PATLAMA KURAMI

Genel görelilik kuramı, yerçekimini uzay-zamanın geometrisine indirgeyerek aslında yepyeni bir yerçekimi kuramı olarak Newton'un yerçekimi kuramının yerini aldı. Genel görelilik kuramı, ışığın yerçekiminin etkisi altında bükülmesini Newton Kuramından daha doğru açıklamasının yanında, yine Newton kuramının açıklayamadığı Merkür'ün günberi noktasının devinimi problemini de açıklamış. Dolayısı ile 1920'lerden sonra genel görelilik kuramı yerçekimini en doğru tarif eden kuram olarak kabul edildi.

Einstein genel görelilik kuramını geliştirir geliştirmez, bu kuramı evreni anlamak için kullandı. Einstein denklemlerini evrene uygulayabilmek için evrende maddenin homojen ve eş yönlü bir şekilde dağıldığını varsaydı.²⁷ Bu varsayım eşliğinde genel görelilik denklemlerini evren için çözen Einstein, durağan olmayan çözümler buldu. Eğer Einstein'ın çözümü doğruysa o zaman uzay-zaman dokusu, dolayısı ile evren ya genişliyor ya da büzülüyor olmalıydı. Bu aslında şaşırtıcı bir sonuç değildi. Bir önceki bölümde değindiğimiz gibi, Genel Görelilik kuramına göre hareket de madde dağılımı da uzay-zamanı deforme eder. Bu deformasyon da doğrudan maddenin dağılımına ve hareketine etki eder. Bu yüzden ki artık uzay-zaman, maddenin hareket ettiği pasif bir alan olmaktan çıkıp devamlı değişen, evrenin gelişiminde başrol oynayan aktör konumuna gelmektedir. Bu sebeple dinamik bir evren tablosunun ortaya çıkması hiç de şaşırtıcı değildir.

27. Bu varsayım, kozmoloji ilkesi olarak bilinir. modern kozmolojinin en temel varsayımlarından biridir. Yapılan gözlemler ve arka alan ışıınımı üstündeki analizler bu ilkenin doğru olduğuna işaret etmektedir.

Ancak 1929 yılına kadar astronomlar evrenin durağan ve değişmez olduğunu düşünüyorlardı. Hiç kimse evrenin büyüklüğünün değiştiğini, başlangıcı olabileceğini tahmin etmiyordu. Astronomların bu görüşünden etkilenen Einstein, çıkarımının yanlış olduğu sonucuna varıp, denklemlerine kozmolojik sâbit olarak bilinen yeni bir terim ekledi. Bu terime özel bir değer verildiği zaman, denklemin durağan bir evrene izin vermesi sağlanıyordu. Einstein bu sonuçlarını 1917 yılında yayınladı. Ancak Einstein yanılıyordu, kozmik sâbit ilk başta durağan evrene izin veriyormuş gibi görünse de, bu evren, ucunun üstüne yerleştirilmiş bir bıçak gibi istikrarsızdı. En ufak bir simetri bozulumunda evren durağan olmaktan çıkacaktı. 1922 yılında bir Rus fizikçi Alexander Friedmann, Einstein denklemlerinden kendi adını taşıyan ünlü denklemini çıkarsadı ve evrenin genişlemesi gerektiğini ortaya attı.

Friedmann'ın bu müthiş öngörüsü 1929 yılında Edwin Hubble tarafından doğrulandı. Hubble gelişmiş teleskoplar yardımı ile galaksilerin ışığının kızıla kaydığını gözlemledi. Eğer bir araca fener koyar, aracın sizden büyük bir hızla uzaklaşmasını sağlarsanız, ışık kızıla kayacaktır. Dolayısı ile galaksilerinin ışığının kızıla kayması onların büyük bir hızla bizden uzaklaştığı anlamına geliyordu. Galaksilerin uzaklaşma hızı, bizden uzaklıkları ile doğru orantılı olarak artıyordu. Eğer evrenin saatini geri sararsak, evren, yani uzay-zaman, durmadan küçülür, tâ ki bir noktaya çekilene kadar. Bu görüngü, Büyük Patlama kuramının doğmasına sebep oldu. Bu kurama göre; uzay, zaman, madde ve enerji bundan 13,7 milyar yıl önce patlama mecâzı ile anılan bir açılma ile ortaya çıkmıştır.

Büyük Patlama kuramı ilk 10^{-44} sâniye öncesinde ne olduğunu açıklayamaz. Bu belirsiz aşamadan sonra yer çekimi ortaya çıkar ve evrenin genişlemesini yavaşlatır. 10^{-34} sâniyede, evren bir anda enflasyon olarak bilinen olayla çok hızlı bir biçimde genişler. 10^{-5} sâniyede, evrenin sıcaklığı iki trilyon dereceye düşer ve önce maddenin bilinen en temel yapı taşları olan kuarklar, daha sonra da bunlardan atom çekirdeğini oluşturan proton ve nötronlar oluşur. 2 dakikadan sonra bazı protonlarla nötronlar bir araya gelerek helyum atomunun çekirdeğini oluşturmaya başlar. Evren üç yüz seksen bininci yaşına girdiğinde, elektronlar protonlara bağlanmaya, bu şekilde ilk atomlar oluşmaya başlar. Büyük patlamadan 100 milyon yıl sonra atomlar yoğun oldukları yerlerde bir araya gelip ilk yıldızları oluşturmaya başlarlar. Bu yıldızlar da bugün bizim bedenimizi oluşturan ağır elementleri oluşturmurlar.

Evrenin sınırlı bir zamandır var olduğunu savunan büyük patlama kuramının dayandığı temel kanıtlar şu şekilde sıralanabilir:

1. Kozmik fon ışıının varlığı ve sıcaklık değeri: Kozmik fon ışıını, 2,7 K sıcaklığa tekâbü eden, evrenin her tarafından gelen bir ışıındır. Evren 380.000 yaşında iken, 3000 K sıcaklıkla ayrılan bu ışıın, büyük

patlamadan arta kalan bir fosil görevini görmektedir. Bu ışınımın varlığını ve sahip olduğu değeri Büyük Patlama Kuramı hariç hiçbir kuram açıklayamamaktadır.

2. Hafif elementlerin yaygınlığı: Gözlemlenebilen maddenin % 75'ini Hidrojen, % 25'ini Helyum oluşturur. Her 30.000 Hidrojen atomuna, bir adet Deuterium²⁸ düşmektedir. Hemen hemen bu miktarda Helyum ³²⁹ ve Hidrojenin on milyarda biri kadar Lityum da uzayın her tarafına dağılmış durumdadır. Elementlerin bu dağılımını gene Büyük Patlama kuramı başarı ile açıklarken, bu kuram dışında bir açıklama mevcut değildir. Hatta Helyum 3 ve Deuterium yıldızlarda bile oluşamamaktadır ve bunların varlığı ancak Büyük Patlama'nın yarattığı koşullarla açıklanabilmektedir.
3. Evrendeki cisimlerin yaşı: Radyoaktif yaşlandırma teknikleri kullanılarak, dünyadaki çeşitli kayaların, dünyaya düşen meteorların ve aydan alınan taşların yaşı ölçülebilmektedir. Bu ölçümler 4-6 milyar yaş aralığını vermektedir, bu da tam Büyük Patlama Kuram'ının öngördüğü rakamlardır.
4. Evrenin genişlemesi: Yukarıda açıkladığımız gibi evrenin genişlemesi, doğrudan Büyük Patlama kuramını desteklemektedir.

EINSTEIN'IN ETKİSİ VE DEĞERLENDİRME

Albert Einstein, Newton'la birlikte tartışılmaz bir şekilde fizik tarihinin en önemli iki isminden biridir. Özellikle özel ve genel görelilik teorisi fizik anlayışımızı tamâmen değiştirmiştir ve günümüz fiziğinin en temel teorilerinden biridir. Elektromanyetik kuramdan, atom fiziğine, parçacık fiziğinden kozmolojiye bütün çağdaş bilimin branşları başarılarını bu kurama borçludurlar. Yüksek hızlarda cisimlerin davranışını özel görelilik kuramını devreye sokmadan incelemek mümkün değildir. Yine modern fiziğin bütün temel kuramları, Kuantum Alanlar Kuramı, Standart Model, Sicim Kuramı temelde bu kurama dayanmaktadır. Diğer taraftan Genel Görelilik Kuramı, yerçekimi ve büyük boyutlardaki cisimlerin davranışlarını en iyi tasvir eden kuramdır. Bütün çabalara rağmen bu kuramdan daha başarılı bir kuram hâlâ mevcut değildir.

28. Deuterium (ağır Hidrojen), çekirdeğinde bir proton ve bir nötron olan hidrojen atomudur. Sıradan hidrojenin çekirdeği sadece bir proton içerir.

29. Yaygın olan normal Helyum ya da diğer bir ismi ile Helyum 4 çekirdeğinde, 2 proton, 2 nötron içerir. Diğer taraftan Helyum 3 çekirdeğin 2 proton, 1 nötron içerir.

Ancak bu iki kuram da, küçük boyutlarda yerini Kuantum mekaniğine bırakmak zorundadır. Bu noktada ciddi bir sorun oluşmaktadır, zira Kuantum Mekaniği ve Görelilik kuramları birbiri ile uyumsuz gözükmektedirler. Bu iki kuramı birleştirme çabalarının hepsi başarısız olmuştur. Gelecek fizik nesillerinin önündeki en önemli problem bu iki başarılı kuramı birleştirmektir.

Einstein'a Nobel ödülü kazandıran, Fotoelektrik etki kuramı, kuantum teorisinin temelini oluşturan çalışmalardan biriydi. Zira Einstein o makalesinde ışığın parçacık gibi davrandığını ortaya atmıştı. Kuantum Mekaniği temelde maddenin hem parçacık, hem de dalga gibi davranabildiği varsayımına dayanır. Dolayısı ile Einstein'ın fotoelektrik etkisi ile ilgili çalışmaları, erken dönem Kuantum Kuramının geliştirilmesinde çok etkili olmuştu. Ancak Einstein daha sonra özellikle Bohr ve Heisenberg'in geliştirdiği Kuantum Kuramının son halinden hiç memnun olmadı. Kuantum kuramının belirsizlik içermesi, geleceğin ontolojik olarak belirlenemez oluşu Einstein'ın evren anlayışı ile uyumsuzdu; 1920'lerin ortalarından itibaren her fırsatta Kuantum Kuramının eksik olduğunu çeşitli düşünce deneyleri ve fiziksel argümanlarla göstermeye çalıştı.

Einstein'ın her saldırısı, diğer bir büyük fizik devi Bohr tarafından karşılandı.³⁰ Einstein Kuantum kuramının, bir takım gizli değişkenler içerdiğini, bu gizli değişkenleri bilmediğimizden dolayı geleceği öngöremediğimizi düşünüyordu. Einstein'ın savunduğu Kuantum Kuramı yorumu, Lokal gizli değişkenli³¹ Kuantum kuramı olarak bilinir. 1964 yılında fizikçi John Bell, Bohr'un savunduğu Kuantum kuramının, Einstein'ın Lokal gizli değişkenli kuantum kuramıyla belli durumlarda aynı öngörülerde bulunmadığını ispatladı³². Bell, kendi adını taşıyan ünlü bir eşitsizlik ortaya attı. Einstein kuramı bu eşitsizliğe uyar-ken, klasik Kuantum Kuramı bu eşitsizliği geçersiz kılıyordu. 1980'lerin başında Alan Aspect ve grubu, deneysel olarak bu eşitsizliğin geçersiz olduğunu, dolayısı ile Einstein'ın savunduğu Kuantum Kuramının geçersiz olduğunu gösterdi. Einstein kuantum kuramı konusunda yanılıyordu.

Einstein döneminde bilinen iki kuvvet vardı: Yerçekimi ve elektromanyetik kuvvet. Bir önceki bölümde gördüğümüz Einstein yerçekimini geometriye indirgeyip açıklayan genel görelilik kuramını geliştirmişti. Bir sonraki hedefi, bu kuramı dönemin ikinci kuvveti elektromanyetik kuvvetini de kapsayacak şekilde genişletip, diğer bir deyişle Elektromanyetik kuvvetle, yerçekimi kuv-

30. Bu tartışmanın bir özeti için bakınız: Niels Bohr, "Discussions with Einstein on Epistemological Problems in Atomic Physics", Albert Einstein Philosopher-Scientist, Open Court, Lasalle, 1949, 200-241.

31. Lokal olmasından kasıt, iki uzak cismin birbirini anında ya da ışık hızından hızlı şekilde etkilemeyeceği iddiasıdır.

32. John Bell, "On the Einstein Podolsky Rosen Paradox". Physics 1 (3), 1964, 195-200.

vetini birleştirip “Her Şeyin Teorisi” kurmaktı. Einstein hayatının son birkaç on yılını bu problem üstüne çalışarak harcadı. Ancak bütün çabalarına rağmen böyle bir teori kurmayı başaramadı. Bugün yerçekimi ve elektromanyetik kuvvetin yanına, zayıf ve güçlü nükleer kuvvet eklendi. Elektromanyetik kuvvet nükleer kuvvetlerle birleştirilse de, yerçekiminin bu üç kuvvetle birleştirilmesi hâlâ fizikçilerin hayallerini süslüyor. Einstein’ın büyük rüyası Her Şeyin Teorisi’nin mümkün olup olmadığı hâlâ tartışma konusudur.

Einstein’ın Mach’tan etkilendiğini ve mutlak uzayı ortadan kaldıracak, hareketi tamâmen görece yapacak bir teori kurmaya çalıştığını yukarıda belirtmiştik. Einstein görelilik kuramları ile bunu başarmış mıydı? Einstein Genel görelilik kuramını yazdığı zaman bunu başardığını düşünüyordu. Bütün evreni döndürmekle, kovayı döndürmek arasında bir fark olmamalıydı. Einstein bu durumu Mach’a mektupla bildirmişti.³³ Ancak Einstein kariyerinin sonlarına doğru, mutlak uzay fikrini ortadan kaldıramadığını fark ederek, Machçı fikirlerinden vazgeçmeye başladı. Çünkü kuramı ilk başlarda mutlak uzay ve hareketi ortadan kaldırmış gibi gözükse de, 1917 yılında ünlü astronom De Sitter, Genel Görelilik Kuramının denklemlerinin hiç madde içermeyen uzaya izin verdiğini gösterdi. Pekâlâ hiç madde olmayan bir uzay-zaman var olabilirdi. Genel görelilik mutlak uzayı yok etmiş olabilirdi, ancak yerine mutlak uzay-zaman koymuştu. Dahası Genel Görelilik kuramı, sadece bir objenin olduğu uzayda, dönme hareketi gibi ivmeli hareketleri tesbît etmeyi mümkün kılıyordu. Bu yüzden Genel Görelilik kuramı, Mach’ın aklındaki görece hareketin kriterlerini sağlamıyordu. Çoğu günümüz uzay-zaman felsefecisi, Einstein’ın mutlak hareket ve uzay-zamanı ortadan kaldıramadığını düşünse de, Genel Görelilik Teorisinin böyle bir sürümünün kurulup kurulamayacağı, Mach’ın ortaya attığı görece hareket kavramının daha zayıf bir türünün geliştirilip geliştirilemeyeceği günümüz fizik felsefecilerinin hâlâ tartıştığı bir konudur.

KAYNAKÇA

- Alexander, H.G. (Ed.), *Leibniz Clarke Correspondence*, Manchester University Press, Manchester, 1956
- Alväger vs, “A Direct Terrestrial Test of the Second Postulate of Special Relativity”. *Nature* 197 (4873), 1963.
- Bell, John, “On the Einstein Podolsky Rosen Paradox”. *Physics* 1 (3), 1964, 195–200.

33. Albert Einstein Ernst Mach’a mektubu, Zurich, 25 Haziran 1923, (Kaynak: Charles Misner; Kip Thorne; John Wheeler, *Gravitation*, W. H. Freeman, San Francisco, 1973)

- Bohr, Niels, "Discussions with Einstein on Epistemological Problems in Atomic Physics", *Albert Einstein Philosopher-Scientist*, Open Court, Lasalle, 1949.
- Einstein, Albert, "Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt". *Annalen der Physik* 17 (6), 1905, 132–148.
- , "Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen". *Annalen der Physik* 17 (8), 1905, 549–560
- , "Zur Elektrodynamik bewegter Körper". *Annalen der Physik* 17 (10), 1905, 891–921
- , "Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?". *Annalen der Physik* 18 (13), 1905, 639–64
- , *İzafiyet teorisi*, Say yayınları, 2012.
- Mach, Earnst, *The science of mechanics: a critical and historical account of its development*, The Open Court Publishing, Chicago, 1915.
- Misner, Charles; Thorne, Kip ve Wheeler, John, *Gravitation*, W. H. Freeman, San Francisco, 1973
- Newton, Isaac, *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy*, University of California Press, Berkeley, 1726
- Pais, Abraham, *Subtle is the Lord: The Science and Life of Albert Einstein*, Oxford University Press, Oxford, 1982
- Wolfgang Rindler, *Relativity: Special, General and Cosmological*, Oxford University Press, Oxford, 2006.
- Schwarz, Patricia and Schwarz, John, *Special Relativity: From Einstein to Strings*, Cambridge University Press, Cambridge, 2004
- Valiati, Ezio Leibniz and Clarke: *A study of their correspondence*, Oxford University Press, Oxford, 1997.