

2. BASKI

FİZİK ÜZERİNE YEDİ KISA DERS

CARLO
ROVELLI

Tellekt

CEVİRİ: TOLGA ESMER



FİZİK ÜZERİNE
YEDİ KISA DERS

Tellekt_13

Fizik Üzerine Yedi Kısa Ders, Carlo Rovelli

Çeviri: Tolga Esmer

Sette brevi lezioni di fisica

İlk baskı (çeviride kaynak alınan basım): Adelphi, 2014

© 2014, Adelphi Edizioni S.P.A. Milano

© 2017, Can Sanat Yayınları A.Ş.

Tüm hakları saklıdır. Tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

1. baskı: Can Yayınları, 2017

Tellekt'te 1. basım: 2020

2. basım: Mayıs 2022, İstanbul

Bu kitabın 2. baskısı 2000 adet yapılmıştır.

Yayına hazırlayan: Didem Bayındır

Editör: Nükhet Polat

Düzeltilen: Mert Tokur

Mizanpaj: Bahar Kuru Yerek

Kapak Tasarımı ve Uygulama: Bora Başkan

İç Kapak Görseli: Bora Başkan

Baskı ve cilt: Türkmenler Matbaacılık Reklam San. ve Tic. Ltd. Şti.

Maltepe Mah. Gümüşsuyu Cad. No: 16-18

Topkapı, İstanbul

Sertifika No: 43087

ISBN 978-625-7118-02-6

Çeviriye katkılarından dolayı Prof. Dr. R. Ömür Akyüz'e teşekkür ederiz.

Tellekt

tellekt.com • bilgi@tellekt.com

Maslak Mah. Eski Büyükdere Cad. İz Plaza Giz, No: 9/25 Sarıyer/İstanbul

Telefon: (0212) 252 56 75 / 252 59 88 / 252 59 89 Faks: (0212) 252 72 33

Sertifika No: 43514

Tellekt, Can Sanat Yayınları Yapım ve Dağıtım Ticaret ve Sanayi A.Ş.'nin markasıdır.

twitter.com/tellekt • facebook.com/tellekt • instagram.com/tellekt

FİZİK ÜZERİNE
YEDİ KISA DERS
CARLO ROVELLI

ÇEVİRİ:
TOLGA ESMER

Tellekt

Carlo Rovelli'nin Tellekt'teki diđer kitabı:

Zamanın Düzeni, 2020

CARLO ROVELLI, 1956'da Verona'da doğdu. Günümüzün öncü fizik kuramcılarında bulunan Rovelli, 1981'de Bologna Üniversitesi Fizik Bölümünden mezun oldu, 1986'da Padova Üniversitesi'nde doktora derecesini aldı. Doktora sonrası araştırma sürecinde Imperial College London (1986), Roma La Sapienza Üniversitesi (1987/88), Yale Üniversitesi (1987), Syracuse Üniversitesi (1989) ve Trieste SISSA'da çalışmalar yaptı. 1990-1999 yıllarında Pittsburg Üniversitesi'nde öğretim üyesi, 1999-2000 yılları arasında da profesör olarak görev yaptı. 2000'de Fransa'da Aix-Marseille Üniversitesi'ne geçti. Araştırma alanıyla ilgili seçkin kurumlardan çok sayıda ödüle layık görülen Rovelli, Lee Smolin'le birlikte *loop* (ilmek) kuantum kütle çekimi kuramını geliştirdi. Çok sayıda akademik yayınının yanı sıra 2011'de *Miletli Anaksimandros ya da Bilimsel Düşüncenin Doğuşu*'nu, 2014'te *Gerçeklik Göründüğü Gibi Değil: Nesnelerin Temel Yapısı*'nı yayımladı. Aynı yıl yayımlanan *Fizik Üzerine Yedi Kısa Ders*, 40'tan fazla dile çevrildi ve yaklaşık bir milyon okurla buluştu. Son olarak 2017'de *Zamanın Düzeni* adlı kitabı yayımlayan Rovelli, Aix-Marseille Üniversitesi'ne bağlı Fizik Kuramı Merkezi'nde çalışmalarını sürdürmektedir.

<http://www.cpt.univ-mrs.fr/~rovelli/>

TOLGA ESMER, 1966'da İstanbul'da doğdu. St. Joseph Lisesi'ni bitirdikten sonra bir yıl ABD'de kaldı. Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden lisans eğitimini tamamladıktan sonra, Bocconi Üniversitesi'nde Uluslararası Ekonomi ve İşletme alanında yüksek lisans derecesi aldı. Farklı üniversite-

telerde işletme alanında dersler verdi. Film yapımclığı yaptı. Predrag Matvejić'in *Akdeniz'in Kitabı*'nı (1999), Umberto Eco'nun *Açık Yapıt*'ını (2016), Jonathan Wilson'ın *Kirli Yüzlü Melekler/Arjantin Futbol Tarihi*'ni (2017), Fernando Báez'in *Kitap Kıymınının Evrensel Tarihi*'ni (2018), David Lewis-Williams'ın *Mağaradaki Zihin*'ini (2019), Carlo Rovelli'nin *Gerçeklik Göründüğü Gibi Değildir* (2018) ve *Zamanın Düzeni* (2020) kitaplarını dilimize kazandırdı.

İÇİNDEKİLER

SUNUŞ	9
BİRİNCİ DERS: KURAMLARIN EN GÜZELİ	11
İKİNCİ DERS: KUANTUMLAR	19
ÜÇÜNCÜ DERS: EVRENİN MİMARİSİ	25
DÖRDÜNCÜ DERS: PARÇACIKLAR	33
BEŞİNCİ DERS: UZAY TANECİKLERİ	39
ALTINCI DERS: OLASILIK, ZAMAN VE KARA DELİKLERİN İSİSİ	47
BITİRİRKEN: BİZ	57
DİZİN	69

SUNUŞ

Bu dersler modern bilimi tanımayan veya az tanıyanlar için yazıldı. 20. yüzyılda fizikte gerçekleşen büyük devrimin bazı en belirgin ve en büyüleyici yönlerine, özellikle de bu devrimin ortaya attığı sorulara ve gizemlere hızlıca göz atmamızı sağlayacaklar. Çünkü bilim, dünyayı nasıl daha iyi anlayacağımızı gösterir ama aynı zamanda bilmediklerimizin ne kadar uçsuz bucaksız olduğunu da ortaya çıkarır.

İlk ders, “kuramların en güzeli”, Albert Einstein’ın genel görelilik kuramına ayrılmıştır. İkincisi modern fiziğin en sarsıcı yönlerine ev sahipliği yapan kuantum mekaniğine... Üçüncüsü evrene ayrıldı: içinde yaşadığımız evrenin mimarisine. Dördüncüsü temel parçacıklara... Beşincisi kuantum çekimine: halen yürütülmekte olan, 20. yüzyılın büyük keşiflerinin bir sentezinin oluşturulması girişimine... Altıncısı olasılığa ve kara deliklerin ısısına... Kitabın son bölümü, bizlere geri dönüyor ve bu fiziğin tarif ettiği garip dünyada kendimiz hakkında düşünmeyi nasıl başaracağımızı sorguluyor.

Dersler, yazarın *Sole 24 Ore* gazetesinin pazar ekinde yayımladığı bir dizi makalenin genişletilmiş halinden oluşuyor. Yazar, pazar gazetesinin kültür sayfalarını bilime açma ve onun kültü-

rün ayrılmaz ve yaşamsal bir parçası olma rolü olduğunu ortaya koyma erdemini gösteren Armando Massarenti'ye özellikle teşekkür eder.

BİRİNCİ DERS

KURAMLARIN EN GÜZELİ

Albert Einstein gençliğinde bir yılını aylıklık ederek geçirdi. Boşa zaman geçirmeden bir yere varılmaz ama gençlerin anne babaları ne yazık ki bunu genellikle unuttur. Pavia'daydı. Almanya'daki lisesinin zorluğuna dayanamayıp eğitimini bırakmış, ailesinin yanına gelmişti. Yüzyılın başıydı ve İtalya'da endüstri devrimi yeni başlıyordu. Mühendis olan babası Po Ovası'ndaki ilk elektrik santallerini kuruyordu. Albert, Kant okuyor, boş zamanlarında Pavia Üniversitesi'nde derslere giriyordu; ne kayıt olmuştu ne de sınavlara giriyordu, bunu zevk için yapıyordu. Gerçek biliminsanı ancak böyle olunur.

Sonra Zürih Üniversitesi'ne kaydoldu ve fiziğe daldı. Birkaç yıl sonra, 1905'te, zamanın en önemli bilim dergisi *Annalen der Physik*'e üç makale göndermişti. Bunların her biri bir Nobel Ödülü hak eder. İlki atomların gerçekten var olduğunu kanıtlıyordu. İkincisi, bir sonraki derste söz edeceğim kuantum mekaniğinin kapısını aralıyordu. Üçüncüsü onun ilk görelilik kuramını ortaya

koyuyordu (bugün ona özel görelilik kuramı deniyor); zamanın herkes için eşit akmadığını açıklayan bu kurama göre biri diğerrinden daha hızlı hareket eden ikizler farklı yaşlarda olacaktı.

Einstein çok kısa sürede ünlü bir bilim insanı oldu ve pek çok üniversiteden teklifler almaya başladı. Ama bir şey onu rahatsız ediyordu: Görelilik kuramı, her ne kadar hemen övgüyle karşılanmış olsa da, kütle çekimi kuvvetiyle, yani cisimlerin nasıl düştüğüyle ilgili bildiklerimizle uyuşmuyordu. Einstein bunun farkına, kuramı hakkında bir özet yazarken vardı ve büyük Newton babanın çok eskiden kalma ve görkemli “evrensel çekim kuvveti”nin yeni görelilik düşüncesiyle uyumlu olabilmesi için gözden geçirilmesinin gerekli olup olmadığını merak etmeye başladı. Probleme daldı. Çözmesi on yılını alacaktı. Çılgınca araştırmalar, denemeler, yanlışlar, kafa karışıklıkları, hatalı makaleler, göz kamaştırıcı fikirler, yanlış fikirlerle dolu on yıl... Sonunda, Kasım 1915’te eksiksiz çözümünü yayımladı: “Genel görelilik kuramı” adını verdiği yeni bir kütle çekimi kuramı onun başyapıtı oldu. Büyük Rus fizikçi Lev Landau ona “bilimsel kuramların en güzelini” adını verdi.

Mozart’ın *Requiem*’i, *Odysseia*, Sistina Şapeli, *Kral Lear* gibi bizi yoğun biçimde duygulandıran mutlak başyapıtlar vardır. Görkemlerinin değerini takdir edebilmek için bir eğitim süresi gerekebilir. Ama bunun ödülü saf güzelliştir. Yalnızca bu da değil: Dünyaya yepyeni bir bakış açısıyla, farklı gözlerle bakmamızı sağlarlar. Albert Einstein’ın başyapıtı, genel görelilik kuramı da bunlardan biridir.

Kuramla ilgili bir şeyler anlamaya başladığımda yaşadığım duyguyu hatırlıyorum. Yazdı. Üniversitenin son sınıfında Akdeniz’in Yunan güneşi altında Calabria’da bir plajda, Condofuri’deydim. Okul dikkat dağıtmadığı için, tatil dönemleri ders çalışmak için en iyi zamanlardır. Kenarlarını farelerin kemirdiği bir kitap

üzerinde çalışıyordum; onu Bologna'daki üniversite derslerimin can sıkıcılığından kurtulmak için sığınmaya gittiğim Umbria tepelerindeki yıkık dökük ve biraz da hippie tarzı evde geceleri bu zavallı hayvancıkların deliklerini kapatmak üzere kullanmıştım. Ara sıra gözlerimi kitaptan kaldırıp denizin pırıldıklarına bakıyordum: Einstein'ın hayalinde canlandırdığı uzay ve zamanın bükülmesini görür gibi oluyordum.

Bir büyü gibiydi: Sanki bir arkadaşım gizli bir olağanüstü gerçeği kulağıma fısıldamış, daha basit ve daha derin bir düzeni ortaya çıkarmak için gerçeğin üzerindeki örtüyü birdenbire çekivermişti. Dünyanın yuvarlak olduğunu ve bir topaç gibi delicesine döndüğünü öğrendiğimizden beri gerçekliğin hiç de bize görüldüğü gibi olmadığını anladık: Gözümüze her yeni parçası iliştiğinde yeni duygular yaşarız. Bir örtü daha kalkar.

Ama kavrayışımızın tarih boyunca birbiri ardına gelen sayısız sıçramaları arasında Einstein'ınki belki de eşsizdir. Neden mi? Çünkü öncelikle nasıl işlediği anlaşıldığında kuram soluk kesecek denli basittir. Özetleyeyim:

Newton nesnelerin neden düştüğünü ve gezegenlerin neden döndüğünü açıklamaya çalışmıştı. Tüm nesnelere birbirlerine çeken bir "kuvvet" hayal etmişti: Buna "çekim kuvveti" adını vermişti. Bu kuvvetin, aralarında hiçbir şey olmayan, birbirinden uzaktaki nesnelere nasıl çektiği bilinmiyordu, bilimin ulu babası da herhangi bir hipotez öne sürmek konusunda çekingendi. Newton nesnelerin uzayda hareket ettiğini, uzayın da boş bir kap, evren için büyük bir kutu olduğunu hayal etmişti. Newton tarafından icat edilen bu "uzay"ın, dünyanın kutusunun neden yapıldığı da belli değildi.

Ama Albert'in doğumundan birkaç yıl önce iki büyük İngiliz fizikçi Faraday ve Maxwell, Newton'ın soğuk dünyasına yeni bir unsur kattı: elektromanyetik alan. Her yere yayılmış, radyo dalga-

larını taşıyan, uzayı dolduran, bir gölün yüzeyi gibi titreşip dalgalanabilen ve elektrik kuvvetini “taşıyan” bu alan, gerçek bir olguydu. Einstein gençliğinden beri, babasının kurduğu elektrik santallerinin rotorlarını çeviren elektromanyetik alana hayrandı ve kısa süre içinde kütle çekiminin de elektrik gibi bir alan tarafından taşınması gerektiğini anladı: “Elektrik alanı”na özdeş bir “kütle çekimi alanı” olmalıydı; o da bu “çekim alanı”nın nasıl oluştuğunu ve hangi denklemlerin onu tanımladığını anlamaya çalıştı.

Tam bu noktada olağanüstü bir düşünce, saf deha ortaya çıktı: Kütle çekimi alanı uzayda *yayılmış* değildi, çekim alanı uzayın ta kendisiydi. Genel görelilik kuramının anafikri işte budur.

Nesnelerin içinde hareket ettiği Newton “uzay”ı ve çekim kuvvetini taşıyan “çekim alanı” aynı şeydir.

Bu tam anlamıyla ani bir aydınlanma ânıydı. Dünyanın çok etkileyici bir biçimde basitleştirilmesiydi: Uzay artık maddeden farklı bir şey değildi; dünyanın “maddi” bileşenlerinden biri oldu. Dalgalanan, eğrilen, kıvrılan, bükülen bir madde. Kaskatı ve görünmez bir yapı içinde bulunmuyoruz: Esnek bir yumuşakçanın içine gömülüyüz. Güneş, etrafındaki uzayı bükerek ve dünya da onun etrafında, gizemli bir kuvvet tarafından çekildiği için değil, eğilen bir uzayda bir doğru üzerinde hızla yol aldığı için döner. Tıpkı bir huni içinde dönen bir bilye gibi: Huninin merkezinden kaynaklanan gizemli “kuvvetler” yoktur, huninin çeperinin eğri olması bilyenin dönmesini sağlar. Uzay eğildiği için gezegenler güneş etrafında döner, cisimler yere düşer.

Uzayın eğilip bükülmesi nasıl tanımlanabilir? 19. yüzyılın en büyük matematikçisi, “matematikçilerin prensi” Carl Friedrich Gauss, tepeler gibi iki boyutlu eğrilerin yüzey alanlarını tanımlamak için matematikle ilgili formüller geliştirmişti. Sonra da yetenekli bir öğrencisinden bunları üç ve daha çok boyutlu eğri uzaylara uyarlamasını istemişti. Öğrencisi Bernhard Riemann tama-

men işe yaramaz görünen, hayli kalın bir doktora tezi yazmıştı. Tezin vardığı sonuca göre eğri bir uzayın özellikleri, bugün Riemann eğriliği denen ve simgesi R olan bir matematiksel nesne yardımıyla elde edilebilir. Einstein R 'nin maddenin enerjisiyle orantılı olduğunu söyleyen bir denklem yazar. Yani: Uzay madde- nin var olduğu yerde eğrilir. Hepsi bu. Denklem yarım satır uzunluğundadır, başka bir şey de yoktur. Bir öngörü –bükülen uzay– bir denklem haline gelir.

Bununla birlikte bu denklemin içinde göz kamaştırıcı bir evren vardır. Kuramın büyüklü zenginliği tam bu noktada ortaya çıkar. Bir delinin hezeyanları gibi görünen bir dizi hayalî öngörünün tamamı deneylerle doğrulanmıştır.

Denklem öncelikle bir yıldızın etrafındaki uzayın nasıl eğrildiğini tanımlar. Bu eğrilik nedeniyle yalnızca gezegenler yıldız etrafında dönmekle kalmaz, ışık da doğrusal hareket etmek yerine bükülür. Einstein güneşin ışığı büküğünü öngörmüştü. Bu eğrilik 1919'da ölçüldü ve öngörüsü doğrulandı.

Ama bükülen yalnızca uzay değildir; zaman da bükülür. Einstein zamanın yüksekteki bir konumda, dünyaya yakın, daha alçak bir durumdan daha hızlı aktığını öngörür. Bu da ölçülmüş ve doğru çıkmıştır. Fark çok küçüktür ama deniz kıyısında yaşayan biri, dağda yaşayan ikizinin kendisinden biraz daha yaşlı olduğunu keşfeder. Bu da yalnızca başlangıçtır.

Büyük bir yıldız tüm yakıtını (hidrojeni) tükettiğinde sönmeye başlar. Geriye kalanlar, yanmadan kaynaklanan ısıyla ayakta kalamaz, kendi ağırlığıyla çöker, uzayı o kadar güçlü bir biçimde eğer ki gerçek bir deliğe düşer. Bunlar ünlü *kara delikler*dir. Üniversite yıllarımda ezoterik bir kuramın pek inanılmayan öngörülerini olarak görülmürlerdi. Oysa bugün gökyüzünde yüzlerce gözleniyor, astronomlar tarafından tüm detaylarıyla inceleniyorlar. Ama hepsi bu da değil.

Tüm uzay esneyip genişleyebilir; hatta Einstein'ın denklemi uzayın durağan olamayacağını, genişlemek *zorunda* olduğunu gösterir. Evrenin genişlemesi gerçekten de 1930'da gözlemlenir. Aynı denklem genişlemenin minicik ve çok sıcak genç bir evrenin patlamasıyla tetiklendiğini de öngörür: Bu da Büyük Patlama'dır. Bir kez daha kimse inanmaz ama kanıtlar yığılmaya başlar, sonunda gökyüzünde *kozmetik ardalan yayılımı*, ilk patlamadan geriye kalan yayılmış ışınım gözlemlenir. Einstein denkleminin öngörüsü doğrudur.

Dahası, kuram uzayın deniz yüzeyi gibi hafifçe dalgalandığını da öngörür, bu "çekim dalgaları"nın etkileri gökyüzünde ikiz yıldızlar üzerinde gözlemlenir ve milyarda bir gibi akıl almaz bir hassasiyetle kuramın öngörüsüyle örtüşür. Vesaire.

Kısacası kuram, evrenlerin patladığı, uzayın çıkışı olmayan delikler içine çöktüğü, zamanın bir gezegene inildikçe yavaşladığı, yıldızlar arası uzayın uçsuz bucaksız enginliğinin deniz yüzeyi gibi dalgalandığı renkli ve şaşırtıcı bir dünya tanımlar. Farelerin kemirdiği kitabımdan yavaş yavaş ortaya çıkan tüm bu şeyler bir aptalın bir öfke kriziyle anlattığı masallar ya da Calabria'nın yakıcı güneşinin etkisinin ve denizin çırpıntılarının yarattığı bir sanrı değildi. Gerçekti.

Ya da daha doğru bir ifadeyle, bulanık gündelik yavanlığı-mızdan biraz daha az örtük gerçekliğe bir göz atıştı. Düşlerle aynı malzemedeki yapılmışa benzeyen ama yine de her günkü muğlak düşlerimizden daha gerçek bir gerçeklik...

Tüm bunlar temel bir sezginin ürünü: Uzay ve alan aynı şeydir. Üstelik buraya alıntılanmaktan kendimi alamadığım çok basit bir denklemle ifade edilir, okurlarım şüphesiz çözemeyecek olsa da muhteşem basitliğini görsünler isterim:

$$R_{ab}^{-1/2} R g_{ab} = T_{ab}$$

İşte bu kadar. Bu denklemi okumak için tabii ki Riemann matematiğini hazmetmek ve tekniğe hâkim olmak için bir eğitim süreci gerekir. Biraz çaba ve emek gerekir. Ama Beethoven'ın son dönem yaylı çalgılar dörtlülerinin incelikli güzelliğini hissetmek için gerekenden daha azdır. Her iki durumda da ödülünüz güzellik ve dünyaya yeni gözlerle bakmak olacaktır.

İKİNCİ DERS

KUANTUMLAR

20. yüzyıl fiziğinin iki temel direği, ilk derste söz ettiğim genel görelilik ile burada söz edeceğim kuantum mekaniği, birbirlerinden daha farklı olamazdı.

Her iki kuram da bize doğanın ince yapısının bize görüldüğünden daha incelikli olduğunu öğretir. Ama genel görelilik yoğun bir cevherdir: Bir zihnin, Albert Einstein'ın aklının yarattığı, çekim, uzay ve zamana dair basit ve tutarlı bir görüştür. Öte yandan kuantum mekaniği ya da “kuantum kuramı” benzersiz bir deneysel başarı elde etmiş, gündelik yaşamımızı değiştiren uygulamaların doğmasını sağlamıştır (bu satırları yazarken kullandığım bilgisayar gibi) ama doğumunun üzerinden yüz yıl geçmesine karşın garip bir anlaşılmazlık ve gizem bulutu içinde kalmıştır.

Kuantum mekaniğinin, sanki yoğun düşünce yüzyılını açarmış gibi, tam 1900 yılında doğduğu söylenir. Alman fizikçi Max Planck sıcak bir kutu içinde denge durumunda bulunan elektrik



Çeşitli fizikçi Carlo Rovelli, 20. yüzyıl fizik biliminin temel meselelerine cezbedici bir yolculuk vaat ettiği *Fizik Üzerine Yedi Kesil Ders*'te, fizik alanında gerçekleşen büyük devrimin "en büyüleyici" yönlerini ve ortaya attığı soruları mercek altına alıyor: "Kuramların en güzel", yani Albert Einstein'ın genel görelilik kuramı, modern fizik en sarsıcı yönlerine ev sahipliği yapan kuantum mekaniği, içinde yaşadığımız evrenin mimarisi, temel parçacıklar, kuantum çekimi, klasik ve kara deliklerin işi...

"Kuramsal fizik, yaşamımızı yönlendiren tutkular ve duygulardan beslenir," diyor Rovelli, çoğunlukla bize uzak kalmış bir bilimin aslında bizi kuşatan evren kadar yakınımızda olduğunu gösteriyor: "Günümüz fiziğinin sunduğu bu büyük resimde, algılayan, karar veren, gülüp ağlayan insanın yeri, bizim yerimiz neresidir? Dünya, uzay ve maddenin çok kısa ömrünü kaynaşmalarından, uzay ve temel parçacıkların devasa bir yapıbozundan ibaretse biz neyiz? Biz de yalnızca kuantumlardan ve parçacıklardan mı oluşuyoruz? O zaman hepimizin hissettiği bu bireysel varoluş, bu teklil kişilik olma duygusu nereden geliyor? O halde değerlerimiz, düşüncemiz, duygularımız, bilgilerimiz nedir? Bu uçsuz bucaksız göz karmaşasını dünyada biz neyiz?"

Tellekt

www.tellekt.com

ISBN 978-625-7118-02-6



9 786257 118026