



Uzay-Zamanın Ötesinde

Pennsylvania Eyalet Üniversitesi'nden Abhay Ashtekar, işinin başına oturduğunda, ofisinde fazla kalmıyor. Biraz matematik, onu uzun bir geziye alıp götürüyor. Gezinin nereye olduğu tam olarak belli değil; çünkü bu tanıdığımız bir yer olmadığı gibi, bölgenin tam olarak neresi olduğu da belirsiz. Matematikğin bu birkaç çizgisi, Ashtekar'ı uzay-zamanın ötesine götürüyor. Aslında o, evreni tamamen terk ediyor.

Bir teorik fizikçi olan Ashtekar, bu üç boyutlu dünyadan ve zamandan sadece eğlence için ayrılmıyor. Ashtekar, modern fiziğin bilimcilerinden birisi olan, Einstein'ın kütleçekimi teorisinin, kuantum teorisine nasıl "evlendirileceği" sorusuna yanıtın ancak bu bölgenin dışına çıkılarak bulunabileceğine inanan küçük bir grup teorisyenden birisi. Ashtekar ve arkadaşlarının, uzay-zamanın ötesinden yaptıkları keşifler, teorik fiziğin büyük isimlerinin dikkatini çekiyor. Oxford Üniversitesi'nden konunun baş mimarlarından Roger Penrose, kuantum kütleçekimine yapılan yaklaşımlar arasında, Ashtekar'ın en etkili olduğunu söylüyor. Londra'daki Imperial College'dan Chris Isham ise, son gelişmeleri "çok etkileyici" buluyor.

Bu gelişmeler uzay, zaman ve kütleçekiminin doğasıyla ilgili görüşleri ve

uzun zamandır merak konusu olan kütleçekiminin kuantum teorisi hakkında genişleyen bakış ve fikirleri içeriyor. En iyisi de, bu gelişmelerin, süpersicim teorisinin kalbindeki can sıkıcı bir paradokstan kaçınan bir stratejiyle elde ediliyor olması. Bu yaklaşım, hala kuantum ve kütleçekimi teorilerini birleştirmek amacıyla düzenlenen bir "yarışta" en önde koşuyor.

Elastik Eter

Paradoksun kaynağı, 1915 yılına, Einstein'ın Newton'un 250 yıllık kütleçekimi teorisinin yerine başarıyla inşa ettiği genel görelilik teorisini yayınlamasına kadar gidiyor. Einstein'e göre, kütleçekimi, her kütleyle diğer her kütleyle çeken bir çeşit ilahi lastik değildir. O'na göre, kütleçekimi, uzay ve zamanın eğriliğinin bir göstergesidir. Einstein, verilen belirli bir miktar kütle için, uzay-zamanın ne kadar eğrilmesine yol açtığını şaşırtıcı bir hassasiyetle veren karmaşık bir denklemler gösterdi. Sonuç olarak, genel görelilik teorisi, şu anda modern fiziğin temel taşlarından birisi olarak duruyor. Diğerleri ise, atomaltı parçacıkların dünyasını benzer hassasiyetle tanımlayan kuantum teorisidir.

Yarım yüzyıldan uzunca bir süredir, fizikçiler, bu iki devasa teoriyi bir araya

getirerek, tek bir "Her şeyin Teorisi"ni oluşturmaya çalışıyorlar. Bugüne kadar, bu konuda hiçbir çaba sonuç vermedi. Buna karşın, yüzyılın ortalarında ortaya atılan süpersicim teorisi şu anda en iyi yaklaşım. Bu teori, kuantum teorisindeki temel kuvvetler olan elektromanyetizma, şiddetli ve zayıf nükleer kuvvetler ve kütleçekiminin, bir takım "taşıyıcı" parçacıkların değiş tokuş edilmesinden doğduğunu kabul eden standart fikri benimsiyor. Bu açıdan bakıldığında, kütleçekimi, bir kütlelerden diğerine, graviton olarak adlandırılan taşıyıcı parçacıklarla iletiliyor. Süpersicim teorisinde, bütün bu atomaltı parçacıklar ve kuvvetler, çok daha küçük ölçeklerde de varolabilen, sicim benzeri cisimlerin titreşimlerin bir belirtisidir.

Teorinin en çekici yanlarından birisi, oluşturulan matematik denklemleri, gravitonların sadece diğer kuvvetleri taşıyan parçacıklarla mevcut olması olasılığını göstermekle kalmıyor; matematik, adeta onların varlığını gerekli görüyor. Teoriyi destekleyenler bunu, doğru yolda olduklarına dair bir işaret kabul ediyorlar. Bu teknikler, bir varsayım dayanıyor. Bu varsayım o kadar temel ki, pek çok fizikçi üzerinde durup düşünmüyor bile. Süpersicim teorisi, uzay-zamanın zarif, düzenli ve düz olmasından yola çıkıyor. Bu, iki nokta

arasındaki en kısa mesafenin bir doğru olduğunu ve paralel iki doğrunun sonsuzdan başka hiçbir yerde kesişmeyeceğini söyleyen, basit geometri kitaplarındaki uzay-zaman tanımıdır.

Buna karşın, Einstein'ın genel görelilik teorisinin bize söylediği bir şey var; o da, kütleçekimini anlamayı uman birisinin uzay-zamanın düz değil, eğri olduğunu kavraması gerektiği.

Metrik Yöntemi

Uzay ve zamanın özünü tam anlamıyla kavramak için, Einstein, "metrik" olarak adlandırılan bir terim kullandı. Bunu basitçe, koordinatlarını bildiğimiz iki nokta arasındaki mesafeyi hesaplamaya yarayan bir formül olarak ele alalım. Herkesin aşına olduğu bir metrik var: Pisagor Teoremi. Eğer, düz bir kağıt üzerindeki iki noktanın koordinatlarını biliyorsanız, bu iki noktanın uzaklıklarını bu teoremi kullanarak hesaplayabilirsiniz. Pisagor teoremine fazladan birşeyler katarak, onu dört boyutlu bir hale (üç uzay, bir zaman) getirebiliriz. Matematikçilerce Minkowski metriği olarak bilinen formül, iki uzay-zaman koordinatı verildiğinde, aralarındaki mesafeyi hesaplamaya yarıyor.

Ashtekar ve arkadaşlarını kaygılandıran şey, süpersicimler gibi birleştirici teoriler, hesaplarında, Minkowski metriğinin düz uzay-zamanı kullanabileceklerini kaygısızca varsayıyorlar. Ancak, Einstein'ın fiziğe en büyük katkısı, uzay-zamanın her zaman düz olmadığını göstermesi oldu. Kütlelerin onu eğrilettiğini, genel görelilik teorisinin ise, uzay-zaman metriğinin kütlelerden nasıl etkilendiğini gösteren denklemleri sağladığını gösterdi.

Bir başka deyişle, kütleçekimini anlamak amacıyla, Minkowski metriğini kullanmak anlamak istediğimiz şeyi ortadan kaldırmak demektir. Ashtekar ve arkadaşları, kütleçekiminin kuantizasyonunda en basit hesaplamalarda bile ortaya çıkan sonsuzluklardan kurtulmakta karşılaşılan büyük matematik zorlukları buna bağlıyorlar. "Bunlar, sadece, uzay-zamanın gerçek mikroskopik yapısının çok zayıf kavranmış olmasının sonucudur" diyor Ashtekar.

Ashtekar'ın bu problemi ele alış biçimi, radikal olduğu kadar da cesaret işliyor. Uzay-zaman metriği hakkında, bir takım varsayımlar yapmaktan kaçın-

mak için, basitçe onu terk ediyor. "Uzay-zamanı olmadan fizik yapmayı öğrenmek zorundayız" diyor. Son yedi yıldır, Ashtekar, Pittsburg Üniversitesi'nden Carlo Rovelli, Pennsylvania Eyalet Üniversitesi'nden Lee Smolin, uzay-zamanın katı reçetesinden kaçmalarına yarayacak bir takım matematiksel araçlar geliştirmek için, metrik kavramının adeta temelini kazarak çalışıyorlar.

Metrik kavramının, iki nokta arasındaki mesafeyi tanımladığını belirtmiştik; fakat neyin üzerindeki noktaları? Bu sorunun cevabı, differansiyel manifold diyebileceğimiz bir matematiksel kavramdır; yani, üzerinde bu noktaların yer alabileceği bir çeşit düzğün "yüzey"dir. Kendi başına, bu manifold, boş bir zeminden başka birşey değildir; metriklerin görevi ise, uzay-zaman yapılarını, bu zeminin içine yerleştirmektir. Ancak, bu manifoldu üzerinde fizik yapılacak bir yer haline dönüştürmek için başka bir yol daha var. Bu da "bağlantı"ları (connection) içeriyor.

Metrik, sadece, noktalar arasındaki mesafelerle ilgili iken, bağlantı, eğriler boyunca paralellığı temsil eder. İlk bakışta, bu, metriğin yerine geçecek uygun bir seçime benzemiyor. Birinci bakış açısında, bu metrik için pek kolay bir değiş tokuşa benzemiyor. Buna karşın, bağlantılar, beklenmedik şekilde güçlüdür ve fizikçilere, uzay-zamanın doğası hakkında herhangi bir varsayım yapmadan, ayrıntılı hesap olanağı sağlarlar.

Metriklerin ve bağlantıların işleyişlerini karşılaştırmak için, fizikte en önemli kavramlardan birisi olan "jeodezik" kavramını ele alalım. Jeodezik, uzay-zamanda, bir ışık ışınının, bir noktadan diğerine giderken izlediği yoldur. Metrik, bu olayı çok basit olarak ele alır: Jeodezik, iki nokta arasındaki en kısa mesafedir. Eğer, uzay-zamanda, noktaların koordinatlarını biliyorsanız, metriği de biliyorsanız, jeodeziği anlamak kolaydır. Minkowski metriğinde, örneğin, Pisagor teoreminin dört boyut-



lu versiyonunu kullanmalısınız. Fakat, metrik değiştiğinde, sonuç da değişecektir. Bu nedenle, hangi metriğin kullanılması gerektiğine karar verilmelidir: düz ya da eğri.

Teorisyenler İçin Âlet Çantası

Bağlantıların önemli bir yanı, herhangi bir metrik belirlemeden, size jeodezikleri tanımlama olanağı vermezdir. Bağlantılar bakımından ele alındığında, jeodezik, basitçe, bütün noktalarındaki teğetlerin birbirine paralel olduğu bir yörüngedir. Düz uzayda, sadece doğru bu özelliğe sahiptir. Eğri uzayda ise jeodezikler eğri olabilirler; ancak, bağlantıya dayanan tanım hâlâ doğrudur. Metriklerden bağlantılara geçmekle, diğer pek çok soyut matematiksel kavram, uzay ve zaman hakkında yapılan belirli kabullere bağlı olmaktan kurtarılabilirler. Sonuç ise, uzay ve zamanın "dışında" çalışmak isteyen teorisyenler için bir alet çantası.

Örneğin, fizikte en önemli işlerden biri, olayların nasıl değiştiğini ölçmektir. Bu da, onları farklı noktalarda karşılaştırabilmek anlamına geliyor. Böylece, bir arabanın iki ayrı noktadaki hızlarını karşılaştırarak, ivmesini, dolayısıyla arabaya ne kadar kuvvet uygulandığını bulabilirsiniz. Paralellik kavramını öne çıkaran bağlantılar, matematiksel kavramların değişimler açısından ele alınmalarına ve karşılaştırılmak üzere yan yana dizilmelerine olanak tanır. Buna "paralel taşınım" adı verilir. Bu işlem de, yine bir metriğe bağlı olmayı öner. Kuantum teorisinin ve oradaki şiddetli, zayıf ve elektromanyetik kuvvetlerin tanımlanmasında da bu fikirden faydalanılabilir.

Bugüne kadar, sadece kütleçekimi farklı olarak ele alındı: "Genel göreliliğin ayrıcalığını yaratan, metrik üzerindeki bu geleneksel bir önemsemidir" diyor Ashtekar. Diğer kuvvetleri açıklayan kuantum teorisindeki temel dinamik değişken, cisimleri eğriler boyunca paralel taşımamıza olanak tanıyan bir bağlantıdır. Elektromanyetizmada, nesne yüklü bir parçacık olan elektron; bağlantı ise fotondur. Şiddetli kuvvetlerle ilgili teoride, cisimler, şiddetli yükü taşıyan kuarklar, bağlantılar ise gluonlardır.

Bağlantı yaklaşımı kullanılarak, genel görelilik kuramı, benzer bir duruma getirilebilirdi. Çok yakın zamana kadar, bu konuda pek başarı sağlanamadı. Uzay-zamanın düz olduğu fikrini temsil eden süpersicim teorisi, standart kuantum teorisinin aletlerinden her zaman yararlanabilmiştir. Buna karşın, bağlantı yaklaşımı en baştan başladı. Ashtekar, yardım için matematikçilere başvurduğunda, onlara göre, bu olayın gerçekleşmesi ümitsizdi ve bu olayın altında derin bir teknik neden yatıyordu. Ashtekar şöyle diyor: "Fizikçiler olarak, biz bunu bilmiyorduk ve gerçekleşmesini olanaklı gördük. Bu da bazen gereğinden fazla şey bildiğinizi gösteriyor."

Ashtekar, Kaliforniya Üniversitesi'nden John Baez, Imperial'dan Isham ve Varşova Üniversitesi'nden Jerzy Lewandowski ile birlikte, metriksiz bir kuantum kütleçekimini inceleyebilecek matematiği geliştirmek için uğraştılar. 1995'te, Ashtekar ve Lewandowski, uzay ve zamanın doğasının içine girmeye hazırlardı. Herhangi bir metriktan bağımsız tekniği ilk defa kullanarak, uzay hakkında yeni bir perspektife ulaşacaklarını umdular. Sonunda ise hayal kırıklığına uğramadılar.

Denklemleri, fizikçilerin uzun zamandır şüphelendikleri şeyi doğruladı: Uzayın bir çeşit düzgün bir doku olduğu standart görüşü, sadece bir yaklaşımdır; çok küçük ölçeklerde işe yaramaz. Ashtekar ve Lewandowski'nin bulduğuna göre, eğer bir kişi uzaya, 10-35 metre ölçekle bakabilseydi onu sicim benzeri cisimlerden oluşan, kaynayan bir yapı olarak görecekti. Aynı ölçekte, bir atom çekirdeği bir gökada (galaksi) boyutlarında görünürdü.

Anlaşıldığına göre, süpersicimler uzay-zaman zemininde titreşirler ve yeni, ip benzeri cisimler uzay-zamanın kendisinin yapı taşlarıdır.



Meksikalı bilim adamı Lunichi Iwasaki ve Ronelli'nin yaptığı hesaplar, süpersicim teorisi ve bağlantı yaklaşımı arasında önemli bir farkı ortaya koydu. Süpersicim teorisyenleri gravitonu, uzay-zaman yapısında karışıklıklar gibi gerçekleştiren, kütleçekimi enerjisinin paketi olarak görüyorlar. Gravitonların, otomatik olarak süpersicim denklemlerinden kendiliğinden çıktığı gerçeği, teorisinin en büyük övünç kaynağıdır. Ancak metrik içermeyen hesaplamalara göre, gravitonlar hiç de temel değiller; ancak, uzay-zamanı yapılandıran, temel ipliklerin kolektif davranışlardan meydana gelirler.

Metriksiz kütleçekimi teorisini, diğer bir çok görüşler de ortaya çıkardı. Alan ve hacim gibi bir takım geometrik kavramlar çok küçük ölçeklerde de kuantumlanabilirler. Çok küçük atomaltı parçacıkların ölçeğinde bile, alan ve hacim, alışlageldiğimiz düzgün yapılarıyla görülürler. Bu da, beklenmedik uzay-zaman etkilerinin, parçacık fiziği deneylerinde neden gözlenmediğini açıklıyor.

Bu durumda ise akla bir soru geliyor. Bağlantı teorisinin tahminleri gözleyemeyeceğimiz ölçekte gerçekleşiyorsa, onu nasıl süpersicim teorisine kıyaslarız hangisinin doğru olduğunu anlamak bir yana? Şaşırtıcı ama, Ashtekar, bu yeni teorisinin, karadeliklerin incelenmeleriyle anlaşılabilirliğini söylüyor.

1974 yılında, Cambridge Üniversitesi'nden Stephen Hawking, karadeliklerin patladığını göstererek büyük bir sansasyon yarattı. Kütleçekimiyle kuantum mekaniğini "evlendiren" teoriye kaba bir yaklaşımla bakarak, onların giderek artan bir hızda, parçacık yaydığını gösterdi. Ashtekar, karadelikler, kıyamet

günlerine doğru giderlerken, uzay-zamanın kuantum doğasının sınırlarını kavrayabilirler diyor. Ashtekar, "Eğer, teorimiz, alanın kuantumlu olduğunu ortaya çıkarırsa, karadelikler, aşama aşama buharlaşıyor demektir" diyor ve şöyle devam ediyor: "İşlem, uyarılmış atomların, yeniden taban enerji düzeyine inerken bir dizi geçişler yapmasına çok benziyor olmalıdır".

Bağlantı tabanlı teori, bu aşamaların boyutları konusunda hassas varsayımlara götürüyor. Bu varsayımlar, Hawking'in hesaplamalarıyla uyum içerisindedir ve ayrıca karadeliklerle ilgili bir takım termodinamik anahtar yapıları açıklayabilir.

Matematiksel Zerafet

Bu durumda, astronomların karadelik patlamalarına dair kesin işaretler bulmaları gerekiyor. O zamana kadar, teorisyenler kuantum kütleçekimine bu yeni yaklaşımın faziletlerini, kendi içinde tutarlılık ve matematiksel zerafet gibi bir takım ince kriterleri kullanarak yargılayacaklar.

Ashtekar, kendisinin ve arkadaşlarının amaçlarının süpersicim teorisinin ayağını kaydırmak olmadığını vurguluyor. Hatta, daha sağlam bir temele oturulması gerektiğine inanıyorlar. Ashtekar, sicim teorisinin, zeminsel bir metrik kullandığını ve temel seviyede, bundan kurtulması gerektiğini, kendi çalışmalarının da bunun nasıl olacağını gösterdiğini söylüyor.

Birkaç süpersicim teorisyeninden birisi olan Isham, bağlantı tabanlı yaklaşımı savunularla aynı fikirde olduğunu söylüyor. Ashtekar'ın programının ve süpersicim programının, kuantum kütleçekimi konusunda en gelişmiş iki proje olduğunu ve aynı probleme farklı açılardan baktıkları için birbirleriyle yararlı bir rekabet içinde olduklarını belirtiyor.

Ashtekar, temel sorunların hâlâ var olduğunu kabul ediyor. Kütleçekimini, diğer kuvvetlerle doğrudan ilişkilendiremiyor. "Süpersicim teorisinin aksine, kütleçekimini, atomaltı parçacıklara dayandırmıyoruz" diyor ve devam ediyor: "Ancak, biz, metrik varsayımına dayanmayan bir kuantum geometrisini ele aldık ve sonsuzluklar içermeyen, kesin sonuçlara ulaştık."

Robert Matthews
New Scientist, 17 Mayıs 1997
Çeviri: Alp Akoğlu