MATEMATİĞİN FİZİKSEL BİLİMLERDEKİ YERİ

Freeman J.DYSON

Matematiğin anlaşılması en güç bazı kavramları, fizikteki başlıca gereçleri oluşturmak gibi gizemli bir yolda ilerlerler. Matematiğin bu kullanışlılığından etkilenen birçok fizikçi de, matematiğin gizemli bir gücü olduğuna inanır. Kepler, tüm doğanın geometri sanatında simgelendiğini söylemiştir. Hertz, matematiksel formüllerin kendilerine özgü bir zekâsı olduğunu sezmiştir. Ve Einstein, genel görelilik kuramını, bilinmeyene doğru matematiksel bir sıçrama yaparak kurmuştur. Bugünün fizikçileri ise, matematiği, yalnız bir hesaplama aracı olarak değil, aynı zamanda bir esin kaynağı olarak görmektedirler.

BİR YANILGININ ÖYKÜSÜ

1910 yılında, matematikçi Oswald Veblen ile fizikçi James Jeans, Princeton Üniversitesi'nin matematik programında yapılması gereken reformu tartışıyorlardı. Jeans, "Grup kuramını kaldırabiliriz; fizikte hiç kullanılmayacak bir konu" dedi. Veblen'in bu görüşe karşı çıkıp çıkmadığı ya da grup kuramının, arı (pür) matematiksel temelde alıkonulması konusunu tartışıp tartışmadığı bilinmiyor. Tüm bildiğimiz, grup kuramının öğretilmeye devam ettiğidir. Ayrıca, Jeans'ın önerisine Veblen'in ilgisiz kalması, Princeton'ın bilimsel tarihinde önemli bir yer tutar. Kaderin oyunu olarak, sonraları, grup kuramı fiziğin ana konularından biri olmuştur ve doğadaki temel parçacıkları anlama çabasındaki düşüncelere de egemen olmuştur. 1920'lerden bugünlere, fizikteki

Kepler'in, 1596'da yayınlanmış olan Güneş Sistemi modeli, Öklid geometrisinin "kusursuz" beş cismi üzerine kurulmuştu: Gezegenlerin yörüngeleri, içten dışa doğru sırayla, bir sekizyüzlünün, bir onyüzlünün, bir onikiyüzlünün, bir dörtyüzlünün ve bir küpün içine ve çevresine çizilmişti. Bu model, yanlış yönlendirilmiş matematiksel sezginin bir uç örneğidir. Kepler, kendi kuramı ile zamanının en iyi gözlemleri arasındaki ayrılıkları biliyor olmasına karşılık, bu modele, kendinin en büyük başarılarından biri olarak bakıyordu.

grup, kuramsal görüş açısının öncüleri olan Hermann Weyl ve Eugene P.Wigner'in ikisinin de Princeton Üniversitesi'nde profesör olmaları da bir şans eseridir.

Bu küçük öyküden çıkarılacak dersler de var... İlk olarak, bilim adamları, kendi uzanlık alanları dışındaki konularda pek konuşmamalıdır. Ancak, Jeans'ın yanılgısına, pek kendini beğenmiş gözle de bakılmamalıdır. Çünkü o sıralarda, çok az insan, fizikle grup kuramının birlikteliğinden yararlı sonuçlar çıkabileceğini sezebiliyordu. Böylece, öykümüzden çıkacak ikinci ve daha önemli ders, bilimin geleceğinin öngörülemez olduğudur: Matematiğin fiziksel bilimlerdeki yeri, bir defada ve tam olarak tanımlanabilecek bir şey değildir. Matematiğin bilimlerle ilişkisi, bilimin kendi dokusu kadar zengin ve çeşitlidir.

MATEMATİKSEL SEZGİ VE ÇEŞİTLİLİK

Fiziksel bilimler tarihinin tüm dönüm noktalarındaki değişmeyen tek şey matematiksel tasarlama gücünün mutlak önemidir. Her yüzyılın, bilimde kendine özgü zihinsel uğraşıları ve matematikte kendine özgü üslûbu vardır. Ayrıca, büyük ilerlemelerin başarıldığı her yüzyılda, fiziksel anlayıştaki gelişmeyi, deneysel gözlemin matematiksel sezgiyle birleşimi yönlendirmiştir. Bir fizikçi için, matematik, yalnız olayların hesaplanmasına yarayan bir gereç olmayıp, yeni kuramların kurulmasına yarayan kavram ve ilkelerin de ana kaynağıdır.

Yüzyıllardır, matematiğin, fiziksel evrenin davranışına ayna tutma gücü, fizikçileri şaşırtmıştır. Gezegenlerin hareket yasalarını bulmuş olan, 17. yy.'ın büyük gökbilimcisi Johannes Kepler, şaşkınlığını dinsel terimlerle dile getirmektedir: "Tüm doğa ve ilahi gök yüzü, geometri sanatında simgelenmiştir." Daha idealist olan 19. yy.'da ise, radyo dalgalarının varlığını göstererek, James Clerk Maxwell'in elektromıknatısal denklemlerini ilk kez doğrulamış olan Alman fizikçi Heinrich Hertz,şunları yazmıştır: "Herkes, bu matematiksel formüllerin, bağımsız birer varlıkları ve kendilerine özgü birer zekâları olduğunu, kendi buluşçularından bile daha zekî olduklarını ve bize, başlangıçta kendilerinden beklenenden daha çok bilgi sağladıklarını mutlaka sezebilir." Son olarak da, akılcı çağ diye bilinen 20. yy.'da, Eugene P.Wigner, yüzyılımızın daha modern matematiksel düşüncelerinin

FREEMAN J.DYSON KİMDİR?

Arı (pür) matematikçi olarak yetişmiş bir fizikçidir. İngiltere'de öğrenciyken, Hardy, Littlewood ve Besicovitch'den etkilenmiş ve hemen sayılı kuramcılardan biri olmuştur. Daha sonra, kendi matematiksel yeteneklerinin fiziğe daha yatkın olduğunu anlamıştır. Böylece fiziğe yönelmiş ve eski bir matematikçinin verimli olabileceği fizik problemlerini incelemekten mutluluk duymuştur. Temel parçacıkları kuşatan karmaşıklığı çözmeye ve onların tümünün uyduğu büyük şemayı açıklamaya yardım eden üç matematiksel yaklaşım bulmuştur. Ayrıca fiziğin başka birçok dalında daha çalışmış ve matematiksel incelikle, fiziksel doğrunun çoğu zaman uyum içinde olduğunu göstermeye uğraşmıştır.

başarısı ile ilgili şaşkınlığını, kendine özgü yalın ve alçakgönüllü anlatımıyla şöyle açıklamaktadır: ''Eline bir demet anahtar verilerek, birkaç kapıyı art arda açması istenen insanın, ilk ya da ikinci denemede, hep sağdaki anahtara el atmasına benzer bir durumdayız. Sonunda, anahtarlarla kapılar arasındaki düzenlenimin tek olup olmadığından da şüpheye düşeriz.''

Kepler'in, Hertz'in ve Wigner'in matematikleri arasında hiçbir ortak yan yoktur. Kepler, Öklid geometrisi ile, başka deyişle, çemberler, küreler ve düzgün çokyüzlülerle ilgileniyordu. Hertz, kısmî türevli denklemlerle uğraşıyordu. Wigner ise, karmaşık sayıların kuantum mekaniğindeki kullanımı üzerinde çalışıyordu; ayrıca da, grup kuramının, fiziğin çeşitli alanlarına girmesindeki, kendi zafer nitelikli katkıları üzerinde düşünüyordu. Öklid geometrisi, kısmî türevli denklemler ve grup kuramı, matematiğin birbirlerinden öyle uzak üç dalıdır ki, sanki farklı matematiksel evrenlerle ilgiliymiş gibi görünürler. Oysa üçü de, tek olan fiziksel evrenimizde, içiçe girmiş bir durumda karşımıza çıkarlar. Bunlar, hiç kimsenin tam olarak anlayamadığı şaşırtıcı olgulardır. Henüz, insan aklı, fiziksel evreni, matematiksel evreni ya da bunlar arasındaki ilişkileri tam olarak anlamanın yakınında bile değildir.

Bu yazıda, matematiğin, fiziğe neden bu kadar güç sağladığının derin felsefi tartışmasına girmeyeceğiz. Her yüzyılda, ancak çok az sayıda fizikçi -bizim yüzyılımızda ise, belki de yalnızca, Albert Einstein, Weyl, Niels Bohr, P.W.Bridgman ve Wigner- bilgi temellerimizin yeterince derinine inerek, gerçek felsefi güçlüklere kadar uzanabilmiştir. Çalışmakta olan bilimcilerin büyük çoğunluğu ise, Fransız matematikçi Henri Lebesgue'in şu sözlerindeki rahatlığı benimsemiştir: ''Bence, bir matematikçi, matematikçi olduğu sürece, felsefe ile ilgilenmeye gerek duymaz. Bu, birçok felsefecinin de açıkladığı bir düşüncedir.''

Böylece, biz de, doğanın matematiksel terimlerle anlaşılabileceğini bir inanç sorunu olarak sayacağız ve matematiksel düşüncelerin fizikte nasıl işlediği ile ilgili pratik sorunları ele alacağız. Matematiğin, fizikçiyi etkilemesindeki standartlar nelerdir? Matematiğin hangi dalları, yeni fiziksel anlayışlara esin kaynağı olmaktadır? Bu sorulara cevap vermek için, tarihsel somut örnekler bulabiliriz.

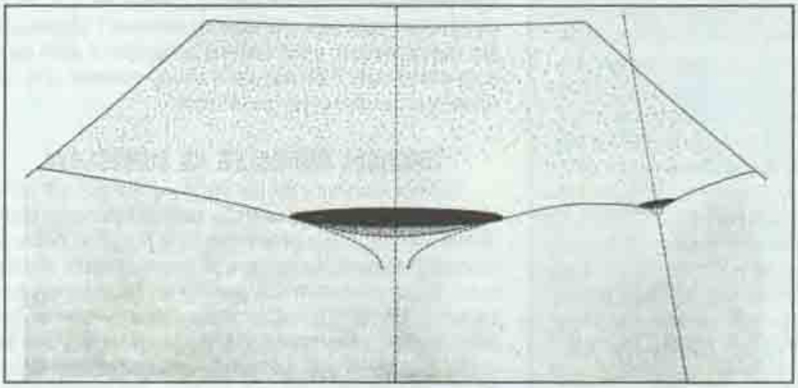
TARİHSEL ÖRNEKLER VE SONUÇLARI

Teknik konuları, teknik olmayan bir kitleye açıklamaya çalışırken, genellikle, tarihsel durumu incelemek ve geçmişin problemleriyle bugünküler arasındaki benzerlikleri ortaya çıkarmak yararlı olmaktadır. Şunu da belirtmek gerekir ki, bilimcilerin pek azının, bilim tarihi üzerine bilgisi vardır ve hemen hemen hiçbiri, çalışmalarında, doğrudan doğruya tarihsel benzerliklerle yönlendirilmezler. Buna karşılık, ancak, geçmişi de çok iyi bilen bir bilimci yaratıcı olabilir.

Matematiksel tasarlama gücünün fizikteki başarılı kullanılışının en göz alıcı örneği, Einstein'ın, genel görelilik kuramı olarak da anılan, kütleçekim kuramıdır. Einstein, kuramını oluşturmak, için, 19. yy. boyunca kurulmuş olan, öklid-dışı bir geometri kullanmıştır. Einstein, fiziksel uzay-zamanımızı, öklid-dışı eğri bir uzayla özdeştiren devrimsel bir adım atmıştır; böylece fizik yasaları, klasik düz-uzay geometrisinden temelce farklı bir geometrinin önermeleri haline gelmiştir. Kuramın gözlemsel sınamaları, ancak, kuramın büyük ölçüde tamamlanmasından sonra yapılabilmiştir; bu nedenle, gözlemler, kurulma sürecinin hiçbir aşamasına girmemiştir. Einstein, kendi matematiksel sezgisine öyle güveniyor olmalıydı ki, gözlem sonuçları üzerinde hiç çekingenlik göstermemiştir. Bu gözlemlerin yararı ise, kuşkusuz, öbür fizikçileri, Einstein'ın haklı olduğuna inandırmak olmuştur.

Genel görelilik, ''bilinmeyene doğru matematiksel bir sıçrama yapılarak'' kurulmuş olan fiziksel kuramların baş örneğidir. Bu kuram, Einstein'ın olağanüstü tasarlama gücü olmasaydı, yüzyıl boyunca da bulunamayabilirdi. Aynı şey, 20. yy. fiziğinin öbür büyük başarısı olan kuantum mekaniği için söylenemez: Kuantum mekaniğini, oldukça farklı görüş açıları ile çalışan bilim adamları olan Werner Heisenberg ve Erwin Schrödinger, birbirlerinden bağımsız olarak kurmuşlardır. Bu iki görüş açısının birbirini tamamlamamsı ise, birçok elin ortaklaşa çalışması ile başarılmıştır. Bununla birlikte, kuantum mekaniğindeki belirleyici sıçramanın da, özellikle Schrödinger'in çalışmasında açıkça görülen, matematiksel tasarlama gücünün ürünü olduğunu vurgulamak gerekir.

Schrödinger'in çalışması, ışık ışınları kuramı ile parçacık yörüngeleri kuramı arasındaki biçimsel bir matematiksel benzerliğe dayanır. Bu benzerlik, 90 yıl kadar önce, İrlandalı matematikçi William Rowan Hamilton tarafından bulunmuştu. Schrödinger, ışık ışınları kuramını, ışık dalgaları kuramının (Hamilton'dan da sonra, Maxwell ve Hertz tarafından kurulmuştur) sınırlayıcı bir özel hali olarak düşünmüş ve şu soruyu sormuştur: Neden, parçacık dalgaları ile parçacık yörüngeleri arasında da, ışık dalgaları ile ışık



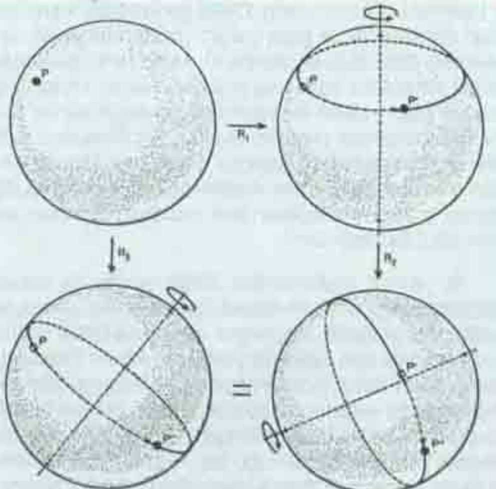
Uzayın eğriliği, Einstein'ın önerdiği bir koyut (postulat)tur. Bu çizimde, iki-boyutlu bir yüzeyin oluşturduğu iki-boyutlu uzayda, kütleli iki cisim gösterilmiştir. Uzayın cisimler çevresindeki yerel eğriliği, onların kütleçekimsel özelliklerinin sonucudur. Gerçek fiziksel uzay-zaman ise, dört-boyutludur.

ışınları arasındaki gibi bir bağıntı bulunmasın? Bu arı matematiksel düşünce, Schrödinger'e, bugün kuantum mekaniği denen, parçacık dalgaları kuramını oluşturmasında yol göstermiştir. Bu kuram, hemen, atomların davranışı ile ilgili, bilinen deneysel olgularla sınanmıştır. Ve kuramın deneylerle uyumu, genel görelilik kuramı halinde olduğundan daha etkili olmuştur. Şunu da belirtelim ki, fizikte sık sık olduğu gibi, birkaç deneysel olguyla birleşmiş olan bazı genel matematiksel düşüncelere dayalı bir kuram, daha sonra, şaşmaz ve gizemli doğrulukta, sayısız deneysel sonuç öngörebilir.

Genel görelilik ve kuantum mekaniği, matematiksel sezginin, verimli ve özgürleştirici rolünü gösteren başarılı kuramlardır. Ne yazık ki, madalyonun bir de öbür yüzü vardır: Matematiksel sezgi, çoğu zaman, devrimsel değil tutucu, özgürleştirici değil kısıtlayıcıdır. Örneğin, Aristo ve Ptolemy, gök cisimlerinin, Dünya merkezli küreler ve çemberler üzerinde hareket ettiğini varsaymışlardır; bu, fiziksel bilimler tarihindeki tersliklerin en kötüsüdür. Aristo astronomisi, bilimi, tam 1800 yıl (M.Ö. 250'den M.S. 1550'ye kadar) karanlıkta bırakmıştır. Kuşkusuz, bu uzun durgunluğun başka birçok nedeni vardır; ancak, baş nedenin, Aristo astronomisinin popülerliğine bağlanmış olması, yanlış yönlendirilmiş matematiksel sezginin, yalnız küreler ve çemberleri estetik olarak yeterli sayması yüzündendir.

Sonunda, 1604'te Kepler, gezegen yörüngelerinin elipsler olduğunu gösteren buluşu ile, Aristo (M.Ö. 250) ve Ptolemy (M.S. 150)'nin kozmolojisini yıktığı zaman, eliptik hareketi yeğleyen herhangi bir matematiksel önyargı ile yönlendirilmiş değildi. Tersine olarak, kendinin, Ortaçağ etkisindeki katı matematiksel önyargılarına karşı savaşmak zorundaydı. Oysa, matematiksel tutuculuk, fiziğin büyük dehaları dışında, genel kuraldır. Düşünce alanında yeni çağlar açan insanlar bile, eski bilgilere tutsaktır. Örneğin, fizik ve astronomide dönüm noktası oluşturan buluşlarına, gerekli hesap tekniklerini de eklemiş olan Isaac Newton bile, düşüncelerini, eski geometri terimleri ile açıklamayı yeğlemiştir: **Principia Mathematica** adlı kitabını, klâsik Yunan geometrisi dili ile yazmıştır.

Bu tarihsel örneklerden çıkarılabilecek tek sonuç, matematiksel sezginin, hem iyi hem de kötü olduğudur; bu ise, fizikte yaratıcı çalışmalar için zorunludur. Bu iki uç niteliğin de nedenleri, matematiğin kendi doğasında bulunmaktadır: Fizikçiler, kuramlarını matematiksel gereçlerle oluştururlar; çünkü matematik, onların daha iyi kavramlarına yardım eder. Fizikçinin sanatı, gereçlerini seçmek ve onlarla doğanın bir resmini çizmektir. Kuşkusuz, seçtiği gereçlerin, amacına uygun olup olmadığını, ussal (rasyonel) olmaktan çok, belli belirsiz ve sezgisel olarak bilebilir; dolayısıyla, kuram-oluşturma sürecinde, matematiksel sezgi, fizikçinin tasarlama gücünü özgürlük sağladığından, yararlıdır. Kuramın tasarımı tamamlandıktan sonra ise, ussal irdeleme ve deneysel sınama, kuramın bilimsel anlamını araştıracaktır ve bu araştırmada ortaya çıkabilecek olumsuzluklar, fazla tasarlama gücü özgürlüğünün tehlikeli de olabileceğini gösterir.



Üç-boyutlu O_3 dönme grubu, üç-boyutlu uzayın sabit bir merkez çevresindeki tüm dönmelerinin kümesi olarak tanımlanmıştır. R_1 ve R_2 böyle iki dönme ise, bunların ikisinin art arda uygulanmasının sonucu, bir üçüncü R_3 dönmesine eşdeğerdir.

BUGÜNKÜ DURUM

Fizikteki bugünkü durumu tartışırken, katıhal, nükleer spektroskopi, vb. gibi alanlara girmeden, "fizik" sözcüğünü, temel parçacıkların incelendiği yüksek-enerji fiziği alanının kısaltması olarak kullanacağız. Son zamanlarda, fizik, alışılmışın tersine, sevindirici bir durumdadır. Büyük hızlandırıcıların son kuşakları, kısa bir zaman içinde, beklenenden çok daha ayrıntılı ve çok daha zengin yeni bir parçacıklar dünyasının varlığını ortaya çıkarmışlardır. Bu makinelerin kurulmasını, o zamanki sorumlu fizikçilerin ve devlet adamlarının inanç ve cesaretlerine borçluyuz. Onların bu girişimlerinin bir sonucu olarak, 1910'ların atomlar dünyası kadar yeni ve değişik olan bir dünya ile ilgili pek çok tam bilgi elde etmiş durumdayız.

Aynı 1910'larda olduğu gibi, yeni parçacıklar dünyasını açıklamak için de, kuramcı fizikçiler, amaç ve yöntemlerini, matematiksel uygunluk ölçütlerine göre seçmek zorundadırlar. Ellerindeki malzeme, çeşitli matematik dalları ile ilgili bilgileri, hesaplama kurallarını ve öteden beri süregelen birkaç genel ilkeyi kapsamaktadır. Bu malzemenin hangi birleşiminin kuram adını alacağı, bir matematiksel uygunluk sorunudur.

Çağdaş kuramdaki üç ana yöntem, alanlar kuramı, S-matrisi kuramı ve grup kuramıdır. Bu kuramlar, birbirlerine kapalı değillerdir; hiç değilse, farklı kuramlara bağlı kavramlar arasında çelişki yoktur. Doğanın gelecekteki anlaşılmasına, bu üç görüş açısının katkıda bulunacağı beklenmektedir.

Bu üç yöntem, yalnız matematiksel gereçlerin seçiminde değil, kullanılış yerlerinde de farklılık gösterirler. Alanlar kuramı, matematiksel derinliği yeğleyen bir önyargıdan, başka deyişle, derin bir fiziksel anlayışla derin matematiğin birlikte yürümesi gerektiği gibi bir duygudan yola çıkar. Seçilen matematiksel gereç, Hilbert uzayındaki işlemci (operatör)lerin cebiridir; gerçek dünyanın göze çarpan yanlarını somutlaştıracak bir yapı kurabilmek için, matematiğin başka çeşitli zor dalları ile de birleşmiştir. Kuramı, deneyle ayrıntılı olarak karşılaştırmaktan çok, matematiksel olarak tam anlamak üzerinde durulur. Alanlar kuramı, üç yöntem arasında, deneyden en uzak, ama matematiksel olarak en tutarlı olanıdır.

S-matrisi kuramında (S harfi, **Saçmak** anlamına gelen, Almanca **Streu** sözcüğünden gelmektedir) ise, matematiksel gereçler, olabildiğince basit seçilir; Fransız matematikçi Augustin Cauchy tarafından 19. yy. başlarında kurulmuş ve o zamandan beri de temel özellikleri değişmemiş olan karmaşık (kompleks) değişkenli analitik fonksiyonların standart kuramı kullanılmaktadır. Kuramın matematiksel temelinin zayıflığı, deneysel verilerin ağırlıklı kullanımı ile dengelenir. S-matrisi kuramcıları, bir deneyin sonuçlarını hesaplamak ya da ön görmek için, başka deneylerin sonuçlarını da kullanırlar. Öngörüler, bazen de, başka deneylerden bağımsız olarak, "temel ilkeler"den çıkarılır. S-matrisi kuramının güzel ve kurtarıcı yanlarından biri de, hesap ilerledikçe, oyunun kurallarının değiştirilebilmesidir. Böylece, önceden hazırlanmış bir kuramı uygulamaktan çok, kuramı, bir yandan, her şeyi temel ilkelerden çıkarmak umudu ile, bir yandan da, deneme yanılma süreci ile oluşturmak söz konusudur. Çalışmanın her aşamasında deneyle karşılaştırma yapılarak, uymayan düşünce hemen elenir ve yalnızca doğrunun ilerlemesine izin verilir.

Modern kuramsal fiziğin temel yöntemlerinden üçüncüsü olan grup kuramında da, kullanılan matematiksel gereç oldukça derin ve güçlüdür; ilgili matematiksel kuram, 20. yy.'ın ilk çeyreğinde kurulmuştur. Grup kuramındaki iki ana kavram, "grup" ve "gösterim"dir. Grup, herhangi iki işlemi art arda uygulandığında, yine aynı kümenin başka bir işlemini veren bir işlemler kümesidir. Grup gösterimi ise, bir sayılar kümesi ve bu sayıların dönüşüm kurallarıdır; grubun her işlemi, bu sayılar için bir dönüşüm verir. Bir gösterimdeki dönüşümler çizgisel olmalıdır; demek ki, p yi p' ye ve q yu q' ye götüren bir dönüşüm, p + q yu, p' + q' ye dönüştürmelidir. Örneğin, üç-boyutlu dönme grubunun bir gösterimi, bir P noktasının uzaydaki konumunu belirleyen (x,y,z) üçlü koordinatlarıdır. Bir R dönmesi uygulanınca, P noktası, koordinatları (x',y',z') olan yeni bir P' noktasına gider; böylece, (x,y,z) için dönüşüm kuralı belirlenmiş olur. Dönme grubunun bu özel gösterimine, üç sayı ile ilgili olduğundan, üçlü gösterim denir.

Grup kuramının fizikteki gücü, iki olgudan gelir. Birincisi, kuantum mekaniği yasalarına göre, fiziksel bir nesnenin bir simetrisi varsa, bu simetriyi koruyan işlemlerin belirli bir G grubu vardır ve bu nesnenin mümkün kuantum durumları da bu G grubunun gösterimini oluşturur. İkincisi ise, fizikte kullanılan gruplar ve gösterimleri, grubun uygulanacağı fiziksel durumdan bağımsız olarak, matematikçilerce hazırlanmış durumdadır. İşte, bu iki olgunun yardımı iledir ki, mekanik ve dinamik modeller kullanmadan, soyut grup özelliklerine dayanılarak, temel parçacıkların simetrilerinin soyut kuramı da yapılabilmiştir.

DEĞERLENDİRME

Grup kuramı, tartıştığımız üç modern kuramsal yöntem arasında, birçok bakımdan en yeterli olanıdır. S-matrisi kuramından farklı olarak, iyi bir matematiksel temeli, alanlar kuramından farklı olarak da sağlam deneysel dayanakları vardır. Peki, acaba grup kuramının yeterli olmayan yanları da var mıdır? Evet; grup kuramı ile ilgili sorun, örneğin, açıklanma bekleyen deneysel veriler olarak, temel parçacıkların yarı ömürleri ve etkileşme şiddetleri gibi sayısal değerleri öngörememesidir. Böylece, soyutlama sürecinin büyük bir zorlama olduğu, dolayısı ile de, gerçek dünyanın birçok temel ve somut özelliklerinin inceleme dışı kaldığı gibi bir durum ortaya çıkmaktadır.

Gerçekte, genel görelilik ve kuantum mekaniği gibi, geçmişin büyük kuramlarını göz önüne alınca, günümüz kuramsal fiziğinin üç yöntemine de kuram demek pek doğru olmaz. Bu üç yöntem de, "büyük bilgisizlik yarıkları üzerine kurulmuş kardan köprüler"e benzetilebilir.(*)

The Mathematical Sciences (A Collection of Essays), The M.I.T. Press, Cambridge, 1969, Sayfa 97-115'ten çev.: Yrd. Doç.Dr. Hanaslı GÜR

(*) *Bu yazının yazıldığı 1969 yılından beri özellikle alanlar kuramında önemli gelişmeler olmuştur. Yine de elde henüz genel görelilik ve kuantum mekaniği gibi kapsamlı ve sınanmış bir alan kuramı yoktur.*