

1

Giriş

Alix Mautner fiziğe çok meraklıydı ve benden sık sık bazı şeyleri açıklamamı isterdi. Bunu hep yapmağa çalışırdım; tıpkı her perşembe bana gelen bir grup Caltech³ öğrencisine bir saat boyunca yaptığım, ama önünde sonunda benim için en ilginç olan noktalarda yaya kaldığım zamanlardaki gibi. Öğrencilerle her seferinde kuantum mekaniğindeki çılgınca fikirlere gelince takılıp kalırdık. Alix'e bu fikirleri bir saat içinde yahut bir gecede açıklamayı beceremeyeceğimi; bunun, çok zaman alabileceğini söylerdim. Ama, ona, günün birinde bu konu üzerinde bir dizi konferans hazırlayacağıma ilişkin söz vermiştim.

Hazırladım konferansları ve bunları denemek için Yeni Zelanda'ya gittim. Çünkü, Yeni Zelanda, işler kötü giderse, dert olmayacak kadar uzaktı. Eh, Yeni Zelanda'daki insanlar fena olmadığını düşününce ben de herhalde öyledir dedim; hiç olmazsa Yeni Zelanda için. İşte, aslında Alix için hazırladığım konferanslar burada; ama ne yazık ki şimdi bunları ona anlatamıyorum.

Anlatacağım şey, fiziğin bilinmeyen değil, *bilinen* bir yanı. İnsanlar şu kuramla bu kuramın birleştirilmesindeki en son gelişmeleri sorup durmaktan, çok iyi bildiğimiz şeyler hakkında bir şey anlatmamıza hiç fırsat bırakmıyorlar. Hep, bilmediğimiz şeyleri öğrenmek istiyorlar. Bu yüzden, sizleri bir yığın yarım yamalak, kısmen çözümlenebilmiş kuramlarla bunaltmak yerine, size iyice çözümlenmiş bir konuyu anlatmak istiyorum. Fiziğin bu alanını seviyorum. Kanımca bu harikulade bir şey: buna kuantum elektrodinamiği ya da kısaca KEDİ diyoruz.

3 ABD'nin önde gelen teknik üniversitelerinden "California Institute of Technology"nin kısaltılmış adı. (Ç.n.)

Bu konferanslardaki ana amacım ışık ve maddenin ya da daha belirgin olarak elektronlarla ışık arasındaki etkileşmenin bu tuhaf kuramını, aslına olabildiğince uygun biçimde tanıtmak. İstediklerimin hepsini anlatmak uzun zaman alacak, ama dört tane konferans olacağına göre acele etmeden her şeyi yoluna sokacağız.

Fiziğin, birçok olayı birkaç kuramda birleştiren bir tarihçesi vardır. Örneğin, önceleri hareket olayları ile ısı olayları, ses olayları, ışık ve kütleçekimi vardı. Sir Isaac Newton hareket yasalarını açıkladıktan sonra, bu, değişik görünen olaylardan bazılarının aynı şeyin farklı yanları olduğu anlaşıldı. Örneğin, ses hava atomlarının hareketi şeklinde tam olarak anlaşılabilir. Böylece sesi harekettten ayrı olarak ele alma gereği ortadan kalktı. Aynı şekilde ısının da *hareket* yasalarıyla kolaylıkla açıklanabileceği bulunabildi. Böylelikle koca koca ayrı fizik kuramları bir tane basitleştirilmiş kuramda birleştirilmiş oldu. Öte yandan kütleçekimi kuramı hareket yasalarıyla anlaşılammakta ve bugün bile diğer kuramlardan *ayrık* durmakta, yani kütleçekimi hâlâ diğer olaylarla anlatılamamaktadır.

Hareket, ses ve ısı olaylarının birleşiminden sonra, elektrik ve manyetik olarak nitelediğimiz birçok olgu bulundu. 1873 yılında bu olaylar, ışık ve optikle birleştirildi. Bunu gerçekleştiren James Clerk Maxwell ışığın elektromanyetik dalga olduğunu ileri sürdü. Bu aşamada, elde hareket yasaları, elektrik ve manyetizma yasaları ve kütleçekimi yasaları bulunuyordu.

1900 sıralarında maddenin ne olduğunu açıklayan bir kuram geliştirildi. Maddenin elektron kuramı denilen bu kurama göre atomların içinde küçük yüklü parçacıklar vardı. Bu kuram giderek çevresinde elektronlar dolanan bir ağır çekirdeği de içerecek hale geldi.

Elektronların çekirdek çevresindeki hareketini; Newton'un, Dünya'nın Güneş çevresinde nasıl dolandığını anlayabilmek için hareket yasalarını kullanımına benzer olarak mekanik yasalarıyla

anlatabilme girişimleri tam bir başarısızlıkla sonuçlandı: Birçok önsöyümler yanlış çıktı. (Fizikte büyük bir devrim olduğunu bildiğiniz görelilik kuramı da aynı sıralarda geliştirildi. Ancak, Newton yasalarının atomlar için yanlış olma derecesiyle kıyaslandığında, görelilik kuramı yalnızca küçük bir düzenleme olarak görülür.) Newton yasalarının yerini alacak başka bir sistem ortaya çıkartmak çok uzun zaman aldı. Zira atomlar düzeyinde olaylar oldukça tuhaftı. Sonunda, maddenin içindeki elektronların "yeni tip davranışlarını" açıklayabilecek, "sağduyuya zıt" bir kuram 1926 yılında geliştirildi. Bu çarpık görünüşlü, ama gerçekte böyle olmayan kuramın adına kuantum mekaniği dendi. "Kuantum"⁴ kelimesi, doğanın sağduyuya aykırı, kendine özgü olan yanına işaret etmektedir. Size anlatacaklarım işte doğanın bu yanıdır.

Kuantum mekaniği kuramı bir yığın ayrıntıyı da açıklayabildi. Bunlar arasında, bir oksijen atomunun iki hidrojen atomuyla birleşerek nasıl su oluşturduğu vb. sayılabilir. Kuantum mekaniği böylece kimyanın temelindeki kuramın oluşmasını da sağladı. Demek ki temel kuramsal kimya aslında fiziktir.

Kuantum mekaniği kuramı, kimyanın tümünü ve nesnelerin çeşitli özelliklerini açıklayabilmesinden dolayı çok başarılı oldu. Ama ışıkla maddenin etkileşmesi sorunu hâlâ duruyordu. Yani, Maxwell'in elektrik ve manyetizma kuramı, geliştirilmiş olan kuantum mekaniğinin getirdiği yeni ilkelere uymak üzere değiştirilmeliydi. Böylece, ışık ile madde etkileşmesinin kuantal kuramı, en sonunda "kuantum elektrodinamiği" gibi korkunç bir adla birçok fizikçi tarafından 1929'da geliştirildi.

Ama kuramın sorunları vardı. Bir şeyi kabaca hesaplamak isterseniz makul sonuç veriyordu. Ama bunu daha kesin olarak hesaplamaya çalıştığımızda, küçük olacağını sandığımız düzeltme (bir serinin, bir sonraki terimi gibi) çok büyük —gerçekte *son-*

4 Bu, Latince "miktar" demektir. Fizik terimleri arasına girmesi, enerji gibi bazı niceliklerin atomlar düzeyinde, ancak "belli miktarlarda" alınıp verilebilmesinin anlaşılmasıyla olmuştur (Ç.n.)

suz— çıkıyordu. Yani aslında *hiçbir şeyi* belli bir kesinliğin ötesinde hesaplayamıyordunuz.

Bu arada, "bir fizikçi gözüyle fizik tarihi" diyebileceğim bu özetlediklerim, tarih olarak pek doğru değil. Bunlar fizikçilerin öğrencilerine, onların da kendi öğrencilerine anlatageldikleri yarı söylemler olup benim de pek bilmediğim gerçek tarihe uygun olmayabilir.

Her neyse, bu "tarih"e devam edelim: Paul Dirac, görelilik kuramını kullanarak elektronun görelilikli kuantum kuramını geliştirdi. Dirac'ın, elektronla ışık arasındaki etkileşmenin tümünü içermeyen bu kuramına göre, elektronun manyetik momenti —küçük bir mıknatısın etkililiği gibi bir şey— belirli bir cins birimle ölçüldüğünde tam 1'dir. Derken 1948 yılında deneylerle asıl sayının 1,00118'e daha yakın olduğu ölçüldü (son rakamda 3 kadar bir belirsizlikle). Elektronların ışıkla etkileştiği tabii ki bilinmekteydi ve bu yüzden bazı küçük düzeltmeler bekleniyordu. Bu düzeltmelerin, kuantum elektrodinamiğinin yeni kuramıyla açıklanabileceği de beklenmekteydi. Fakat hesaplar yapıldığında sonuç, 1,00118 yerine sonsuz çıktı ki bu yanılttı! — deneylere göre.

Evet, kuantum elektrodinamiğinde hesapların nasıl yapılacağı sorunu 1948 yılında Julian Schwinger, Şin'çiroy Tomonaga ve bendeniz tarafından yoluna sokuldu. Andığımız düzeltmeyi yeni bir "üçkâğıt" yaparak ilk hesaplayan Schwinger oldu. Bulduğu kuramsal değer 1,00116 kadardı ve deneysel sayıya, doğru yolda olduğumuzu gösterecek kadar yakındı. En sonunda elektrik ve manyetizma için hesap yapabileceğimiz bir kuantum kuramımız olmuştuk. Size anlatacağım işte bu kuramdır.

Kuantum elektrodinamiği kuramı elli yılı aşan bir süredir gittikçe yaygınlaşan koşullar altında geçerliliğini koruyarak gittikçe daha kesinleşen sonuçlar vermektedir. Bugün gururla söyleyebilirim ki deney ile kuram arasında *kayda değer hiçbir fark yoktur*.

Sırf, kuramın sıkı sınamalardan nasıl başarıyla çıkabildiğini

göstermek amacıyla size son sayıları vereceğim: deneyler Dirac'ın sayısı için 1,00115965221 (en sondaki rakam için 4 kadar belirsizlikle) değerini gösterirken, kuram bunu 1,00115965246 (belirsizlik 20 kadar) olarak hesaplamakta. Bu sayıların keskinliğini daha iyi hissetmeniz için şu benzetmeyi yapacağım: Eğer Los Angeles ile New York arasındaki uzaklıkla kıyaslanırsa belirsizlik payı bir saç teli kalınlığı kadardır. İşte kuantum elektrodinamiği geçen elli yıl içinde böylesine bir incelik ve duyarlılıkla hem deneysel hem de kuramsal olarak sınıandı. Bu arada size örnek olarak yalnız bir tek sayı verdim. Kuantum elektrodinamiğinde benzeri kesinlikle ölçülüp hesaplanabilen ve uyuşan başka şeyler de bulunmaktadır. Bunlar dünyanın yüz katından, atom çekirdeği büyüklüğünün % 1'ine kadar sınıanmıştır. Bu sayıları, sizi kuramın çok kötü olmadığına inandırmak amacıyla vermekteyim. Konumuz bitmeden size bu hesapların nasıl yapılacağını anlatacağım.

Önce, kuantum elektrodinamiğinin açıklayabildiği olayların geniş kapsamını göstererek sizi yeniden etkilemek isterim: Aslında bunu tersinden söylemek daha kolay: kuram, sizi koltuklarınızda tutan kütleçekimi etkisinden (gerçekte buna nezaketi de eklemek gerekir) ve çekirdeklerin enerji düzeylerini değiştirmelerinden doğan radyoaktiflikten başka her olayı açıklayabilir. Peki, kütleçekimi ve radyoaktiflik (daha doğrusu çekirdek fiziği) dışında elde ne kalıyor? Otomobillerde benzinin yanması, köpükler ve kabarcıklar, tuz ve bakırın sertliği, çeliğin sağlamlığı vb... Dahası, biyologlar hayata ilişkin her şeyi ellerinden geldiği kadar kimyaya bağlamaya çabalamaktalar; kimyanın ardındaki kuram da, yukarıda değindiğim gibi, kuantum elektrodinamiğidir.

Bir hususu açıklamam gerekir: Fiziksel dünyadaki her olayın bu kuramla anlatılabileceğini söylüyorum ama bunu gerçekten bilmiyoruz. Bildiğimiz olayların çoğunda öylesine *muazzam* sayıda elektron rol oynar ki, bu karmaşıklıkla izlemek bizim zavallı

beynimiz için zordur. Bu gibi durumlarda kuramı, ne olacağını kabaca anlamak için kullanırız ve kabaca, *bunlar* gerçekleşir. Ancak, laboratuvarlarda *birkaç* elektronla *basit* koşullar altında yapılan deneyler düzenlersek, bunlarda ne olabileceğini büyük bir kesinlikle hesaplayabiliriz. Ne zaman böylesine deneyler yapsak kuantum elektrodinamiği kuramı çok iyi sonuçlar verir.

Biz fizikçiler hep kuramın bir sorunu olup olmadığına bakarız. Oyun böyle; işi ilginç yapan daima kuramın bir sorununun çıkmasıdır. Ama bugüne değin kuantum elektrodinamiğinin hiçbir sıkıntısını bulamadık. Dolayısıyla o, diyebilirim ki fiziğin müceheri, bizim en kıvanç veren varlığımızdır.

Kuantum elektrodinamiği kuramı, çekirdek olaylarını, yani atom çekirdeğinin içinde olup bitenleri anlatmağa kalkışan yeni kuramlar için bir ön örnektir de. Fiziksel dünyayı bir sahne olarak düşünürsek, oyuncular yalnızca atom çekirdeklerinin dışındaki elektronlar değildir; çekirdeğin içinde bunların yanı sıra *kuarklar*, *tutçular*,⁵ vs. gibi düzinelerce parçacık karşımıza çıkar. Hem de bu "oyuncular" birbirlerinden çok farklı görünüşte oldukları halde hepsinin oyun biçimi bellidir. Bu kendine özgü garip biçim, "kuantum" biçimidir. En sonda size çekirdek parçacıklarına ilişkin birkaç söz söyleyeceğim; ama şimdilik yalnızca fotonlar —ışık parçacıkları— ve elektronlardan söz ederek işi basitte tutacağım. Çünkü önemli olan bunların oyun biçimidir ve bu da çok ilginçtir.

Artık nelerden söz edeceğimi biliyorsunuz. İkinci sorun ise, anlatacaklarımı *anlamanız*. Bir bilimsel konferansa gelenler, bunu anlamayacaklarını bilirler; ama belki de konferansçının güzel,

5 "Tutçu", elementer parçacıklara ve bunların özelliklerine verilen egzotik adlara örnek olan "Gluon" (glue = zamb/tutkal) gibi bazıları için çevirenin "önerisi"dir. (Bkz. "Cumhuriyet Bilim-Teknik", sayı 311.) Hattâ ilk baskıda "quark" için, bu Kuzey Avrupa'da bir cins lor peynirine verilen ad olduğundan "lor" adını önermişim. Ancak M. Gell-Mann'ın "The Quark and the Jaguar" (Adventures in the Simple and the Complex, W.H. Freeman & Co., 1994) adlı kitabından bu adın gelişi güzel konulduğu anlaşılmaktadır, dolayısıyla bu baskıda "kuark" demeyi yeğliyorum. (Ç.n.)

renkli bir kravattı falan vardır. Fakat bu kez böyle değil (Feynman kravat takmıyor).

Size anlatacağım şeyleri fizik öğrencilerine lisansüstü öğrenimlerinin üçüncü, dördüncü yıllarında öğretiyoruz; yani şimdi ben bunları size anlatacağım da siz anlayacağınızı mı sanıyorsunuz? Hayır, bunları anlayamayacaksınız. Niçin öyleyse bunlarla başınızı ağrıtıyorum? Anlatacaklarımı anlayamayacaksanız, niçin burada bu kadar oturup dinleyeceksiniz? Benim görevim, sizleri sırf anlamamak yüzünden kalkıp gitmekten alıkoymaktır. Biliyor musunuz, benim fizik öğrencilerim de anlamıyorlar. Çünkü *ben* anlamıyorum. Hiç kimse anlamıyor.

Birazcık, anlamak üzerine konuşalım. Bir konferansta, konuşmacıyı anlamamanız için birçok sebep olabilir. Birincisi, dili kötüdür: belki söylemek istediğini söyleyememekte ya da başını sonunu karıştırmaktadır; dolayısıyla konuştuğu anlaşılmaz. Bu oldukça basit bir sorun, New York aksanımdan kurtulmak için elimden geleni yapacağım.

Bir başka durumda da, konuşmacı, özellikle fizikçi ise, sıradan kelimeleri tuhaf bir şekilde kullanır. Fizikçiler çoğunlukla "iş" veya "eylem" veya "enerji", hattâ "ışık" gibi kelimeleri teknik amaçlarla kullanırlar. Bu yüzden ben de fizikte "iş" derken sokakta kullandığımla aynı şeyi kastetmiyorum. Bu konferanslar sırasında bu kelimelerden birini farkında olmadan böylesine, alışılmamış bir biçimde kullanabilirim. Kendimi yakalamak için elimden geleni yapmayı iş edineceğim; ama bu hataya düşmek çok kolay.

Size söyleyeceklerimi anlamamanıza yol açacağını sanabileceğiniz diğer bir sebep ise, ben size doğanın *nasıl* çalıştığını anlatırken; sizin, doğanın *niçin* öyle çalıştığını anlayamayacak olmanızdır. Ama ne yapayım, bunu hiç kimse anlayamaz. Ben size doğanın *niçin* bu kendisine özgü biçimde çalıştığını anlatamam.