

BİLİM TARİHİNDEN NOTLAR

Prof. Dr. Hüseyin Gazi Topdemir

[Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi,
Felsefe Bölümü, Bilim Tarihi Anabilim Dalı



Kuantum Elektrodinamiği I

Kuramın Kısa Tarihsel Art Alanı

Uzun sayılabilecek bir zaman dilimi boyunca, bilim dünyasında bilinmekte olan temel varlık alanlarında olup bitenlerin açıklanması için başvurulmuş hâkim kuramlar Newton ve Maxwell kuramlarıydı. Daha sonra Einstein, bu kuramların ışık hızına yakın hızlarda gerçekleşen olguların açıklanmasında yetersiz kaldıklarını belirledi ve Görelilik Kuramını geliştirdi. Uzun bir süre boyunca üzerinde durduğumuz temel parçacıkların keşfiyle başka bir varlık dünyasının olduğu anlaşıldı ve bilim insanları enerji yüklü tek bir parçacığın üzerinde iki yarık bulunan dar bir aralıktan

geçirildiğinde girişim yapabildiği türünden görünür dünyadakinden çok farklı olguları gözlemlediler. Böylece yerleşik bilimsel yöntem ve tekniklerle bu dünyada olup bitenlerin bilgisine ulaşamayacaklarını anladılar. Çünkü tek bir parçacığın girişim yapabildiği hususu kolayca kavranacak türden, adeta gündelik hayatın olağan akışı içerisinde karşılaşılan sıradan bir olay değildi. Buna karşın ilk anda tuhaf gelse de gözlemlenen sonuç olgusal bir hakikatti. Böylesi durumları anlaşılabilir ve kavranabilir bir niteliğe büründürmek için Kuantum Kuramı oluşturuldu.

Kuantum nesneleri arasında gerçekleşen etkileşim, değişim ve hareket olgularını açıklamak için ise kuantum mekaniği geliştirildi. Bu kavramsal ve kuramsal gelişmeler yardımıyla sağduyu açısından



Paul Dirac
(1902-1984)



Werner Heisenberg
(1901-1976)



Wolfgang Pauli
(1900-1958)

apaçık görünmeyen çok sayıda olgusal durumun açıklanması mümkün olabiliyordu. Ancak bilim ilerledikçe yeni olgular ve bu olguların açıklanması için yeni kavramlar ve yöntemler geliştirmeye yönelik arayışlar hep devam etti. Nitekim yirminci yüzyılın ilk yarısında ışık ve madde etkileşimi konusunda yapılan araştırmalar hem yeni keşiflerin yapılması hem de kuram geliştirme gayretlerinin parlak sonuçlarının alındığı bir zaman dilimi oldu. Paul Dirac (1902-1984) 1927'de ışık fotonlarının atomlar ve elektronlar tarafından emiliminin ve

salınımının nasıl gerçekleştiğini açıklayan Elektron Kuramını geliştirdi. Kısa bir süre sonra Werner Heisenberg (1901-1976) ve Wolfgang Pauli (1900-1958) kuramı detaylandırırlar. Bu detaylandırma sonucunda şu hususlarda gelişme kaydedildi: Elektronun açısal momentumu (spin) önceden belirlenebilirdi. Pozitif ve negatif enerji yüklü parçacıklar öngörülebilirdi. Elektronlar, protonlar ve fotonlar arasındaki etkileşimin doğası anlaşılabilirdi. 1930'da ise Robert Oppenheimer (1904-1967) elektronun sınırsız denilebilecek denli çok yoğun yüke sahip olduğunu ve bu yüzden kendi ışınlam alanı ve yoğun kütleyle sonsuz bir etkileşim enerjisinin bulunduğunu belirledi.



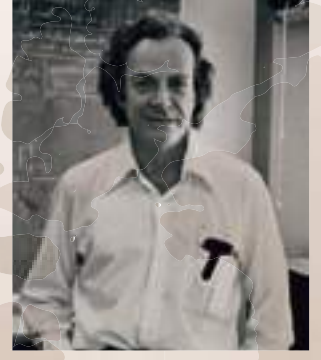
Robert Oppenheimer
(1904-1967)

Art arda gerçekleştirilen keşifler ışık ve madde etkileşimi hakkında detaylı bilgi kazanımını sağlasa da hâlâ açıklanamayan durumların bulunması yeni kavramlaştırmalara dayalı kuramlara gereksinim olduğunu göstermekteydi. Bilim insanları bu durumda Maxwell'in Elektromanyetik Kuramını kuantum mekaniğiyle uyumlu hale getirmek gerektiğini düşündüler ve yapılan çalışmalar sonunda temel parçacıklar arasındaki her tür etkileşimi açıklayabilecek nitelikte Kuantum Elektrodinamiğini oluşturdular.

Kuramın Mahiyeti Üzerine

Geliştirilen her yeni kuramın belirli sınırlılıklar taşıması doğaldır. Kuantum Elektrodinamiği de çeşitli olgusal durumların açıklanmasında belirli sınırlılıklar taşıyordu. Öncelikle kuram, yaptığı açıklamaların sürekli belli bir kesinlik düzeyinde kalması nedeniyle bilimsel açıklamada aranan nicel kesinlik beklentisini yeterince karşılamıyordu. Bu yüzden modern dönemle birlikte yerleşik hale gelmiş olan, “olup bitenleri matematikle kavramak” anlayışına uzak düşmekteydi. Başka bir deyişle kuramın ele almak durumunda olduğu problemlerin ve çözüm önerilerinin nicel olarak nasıl ifade edilebileceği, yani hesaplamaların nasıl yapılacağı konusunda sıkıntıları bulunmaktaydı. Nihayet, 1948 yılında, bu sorunun çözümünü, yüklü parçacıkların etkileşimleri konusunda epeyce zaman ve emek harcamış olan üç bilim insanı, Julian Schwinger (1918-1994), Shin-Ichiro Tomonaga (1906-1979) ve Richard Feynman (1918-1988) gerçekleştirdi. Böylece Kuantum Elektrodinamiği başlangıçta içinde barındırdığı sorunları çok büyük ölçüde çözmüş olarak gittikçe etkinliğini artırdı; ışığın doğası, yayılımı ve madde ile etkileşimi konularında geçerli çözüm önerileriyle temel fizik

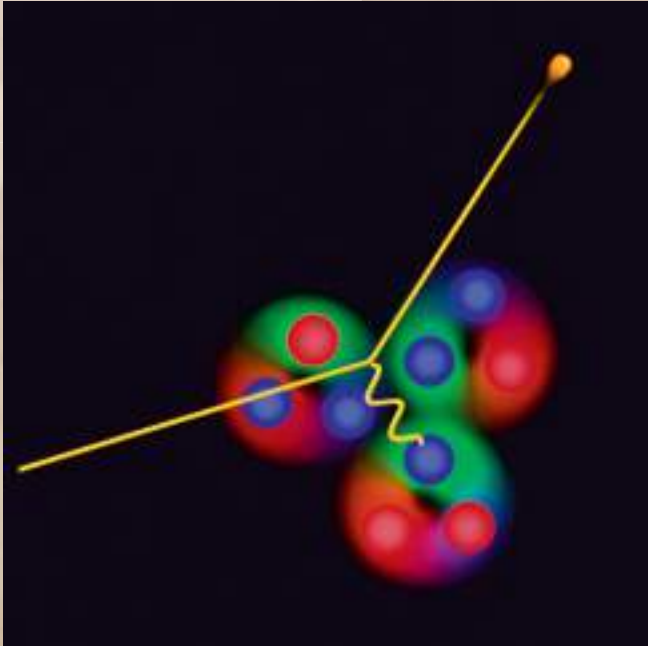
kuramlarından biri oldu. Hatta kurama dayanılarak başarılı tanımlamalar yapılabilmesi ve açıklamalara gidilebilmesi nedeniyle, temsilcileri onu fiziğin mücevheri olarak bile adlandırdılar.



Richard Feynman
(1918-1988)

Kuramın dikkat çeken bir yönü de tarihe Feynman Diyagramları olarak geçen ve ünlü fizikçi Richard Feynman tarafından geliştirilen diyagramları barındırmasıdır. Işık ve madde arasındaki etkileşimden doğan değişimleri hesaplamak için oluşturulacak denklemlerin terimlerini bulma ve düzenleme görevini basitleştirmek için çeşitli kolaylıklar sağlayan diyagramlar, ok yönü sağa ve sola dönük olan düz çizgiler ile dalgalı çizgilerden meydana gelmektedir. Bu çizgiler yardımıyla kuram tarafından temel parçacık kabul edilen elektron, pozitron ve foton arasındaki etkileşimlerin açıklanması için diyagramlar oluşturulabilmektedir. İlk bakışta tuhaf çiziktirmelerden oluşuyormuş izlenimi yaratsalar da diyagramların incelenen olgu ve olgunun matematik ifadesi açısından mükemmel uyum gösterdikleri belirlenmiştir. Bundan dolayı, kuramın temsilcileri onları “hayranlık uyandıran anlatımlar” olarak değerlendirmişlerdir.

Freeman J. Dyson (1923-2020) tarafından sistemleştirilen diyagramlar, temel parçacık fiziğinin kuramsal işlemlerinde, yani fiziksel süreçlerin temsil edilmesinde başarıyla kullanılmaktadırlar. Başka bir deyişle, diyagramlar aynı anda hem incelenen olguların idealize edilmiş temsilleri olarak (görselleştirme) hem de bu olgular hakkında ifadeler üretmek için bir araç olarak işlev görmektedirler. Bizzat Feynman, diyagramların matematiksel ifadeler olmadığını, aksine matematiksel ifadeleri yazmaya yardımcı



olacak araçlar olduğunu belirtmiştir. Daha önce belirtildiği üzere, Kuantum Elektrodinamiğine göre elektron, pozitron ve foton olmak üzere üç temel parçacık vardır ve her bir çizgi, bir parçacığı temsil etmektedir. Bir diyagramda kullanılan ok ve dalgalı çizgi, uzay-zaman koordinatları düzleminde fotonların yarattığı değişim sonucunda etkileşen elektrik yüklü parçacıkların içinde yer aldığı bütün olguları açıklamakta kullanılmaktadır ve bu haliyle Kuantum Elektrodinamiğinin gereksinim duyduğu matematik anlatıma yardım eden araçlar olarak hizmet görmektedirler. Bu açıdan değerlendirildiğinde, Kuantum Elektrodinamiği on yedinci yüzyılda

başlatılan, on sekizinci ve on dokuzuncu yüzyıllarda yerleşik bir bilim anlayışına dönüştürülen “doğayı matematikle yazılmış bir kitap” olarak görme eğiliminin bir devamı olarak geliştirilmiş yeni bir doğa ve evren tasarımının adıdır. Bu noktada şöyle bir soru sormakta yarar vardır: Bütün bu olumlu görüşlere ve özellikle temsilcilerinin övgüyle söz etmelerine karşın kuramın niteliğine ilişkin çok sayıda eleştiri ve tartışma neden yapılmaktadır?

Işık olaylarının başat bir olgu olarak ele alındığı Kuantum Elektrodinamiğinin doğasına yönelik, kuramın geliştirilmesinde önemli rol oynamış bilim insanlarından biri olan Dyson şunları belirtmektedir:

Kuram aracılığıyla ulaşılan başarıları fizikte gerçek bir ilerleme olarak görmeyebiliriz. Bununla birlikte, yenilenmiş halinde sadece hesaplama yöntemlerinin değişmiş olduğu unutulmamalıdır. Tomonaga, Schwinger ve Feynman üçlüsü herhangi bir radikal yenilik yapmadan kuramı kurtardılar. Dyson bu kuşkulu yaklaşımına karşın, üç bilim insanının, kuramın fiziksel temelini Dirac tarafından ortaya konduğu gibi aynen koruduklarını, sadece matematiksel üst yapıyı değiştirdiklerini, matematiksel formülasyonu büyük bir ustalıkla rafine ederek, kuramın aslında tüm gözlemlenebilir nicelikler için anlamlı tahminler verdiğini gösterebildiklerini savunmaktadır. Durumun gerçekte ne olduğunu gelecek yazımızda ele alacağız.

Gelecek sayımızda Kuantum Elektrodinamiği konusunu ele almayı sürdüreceğiz. ■

Parçacık etkileşimlerini gösteren Feynman diyagramları		
Diyagram Bileşenleri		Ok yönü sağ tarafa olan düz çizgi
		Ok yönü sol tarafa olan düz çizgi
		Dalgalı çizgi
Diyagramlara göre Parçacık Etkileşimleri		Bir elektron bir foton yayar
		Bir elektron bir fotonu soğurur
		Bir pozitron bir foton yayar
		Bir pozitron bir foton soğurur
		Bir foton, bir elektron ve pozitron üretir (elektron-pozitron çifti)
		Bir elektron ve pozitron karşılaşır bir foton üreterek kaybolurlar

Kaynaklar

- Feynman, R. P., *Kuantum Elektrodinamiği (KEDİ) Işığın ve Maddenin Tuhaf Kuramı*, Çeviren: R. Ö. Akyüz, İstanbul: Nar Yayınları, 1997.
- Özemer, A. Y., *XX. Yüzyılda Fiziğe Yön Verenler*, İstanbul: Boğaziçi Yayınları, 2005.
- Parker, B., *Kuantumu Anlamak*, Çeviren: Elif Alkın, İstanbul: Güncel Yayıncılık, 2005.
- Wüthrich, A., “The Genesis of Feynman Diagrams, New Studies in The History and Philosophy of Science and Technology”, *Archimedes Series*, Volume: 26, Ed.: Jed Z. Buchwald, New York: Springer, 2010.
- Topdemir, H. G., *Işığın Öyküsü Mitolojiden Kuantum Elektrodinamiğine Işık Kuramlarının Tarihsel Gelişimi*, (4. Baskı), Ankara: TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, 2019.