



# Bohr-Einstein Tartışması

**Y**İRMİNCİ YÜZYIL, iki büyük fizikçinin yıllar süren tartışmasına sahne oldu. Bu fizikçilerden biri Albert Einstein. Einstein'ın kim olduğunu bilmeyen herhalde yoktur. Özel ve genel görelilik kuramları ve fiziğe yapmış olduğu diğer çok önemli katkılarıyla Einstein gelmiş geçmiş en iyi fizikçilerden biri olarak kabul edilir. Ötekirse fizik dışında Einstein kadar tanınmasa da fizikçiler arasında en az onun kadar saygıyla anılan Niels Bohr. Niels Bohr, kuantum kuramının gelişmesinde en önemli rollerden birinin oynamış bir fizikçi.

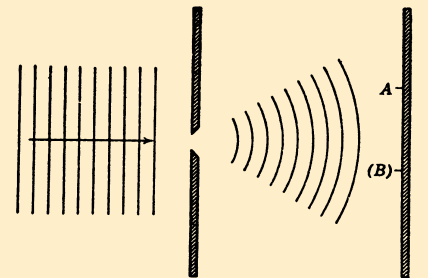
Einstein ve Bohr, uzun yıllar birbirlerine karşı sevgi ve saygılarını hiçbir zaman yitirmeden kuantum mekaniğinin temel kavramları üzerine tartıştılar. Kuantum mekaniğinin ilk ortaya çıktığı yıllarda fotoelektrik olayını açıklayarak kuantum kuramına çok önemli bir katkı sağlamış olan Einstein, daha sonraları kuantum kuramının geliştiği yönden hiç memnun kalmamıştı. 1927 Ekim'inde Brüksel'de yapılan beşinci Solvay konferansı ile başlayarak Einstein önceleri Heisenberg'in belirsizlik ilkesinin ve kuantum kuramının getirdiği olasılık kavramının yanlış olduğunu, dolayısıyla kuantum kuramının tutarsız olduğunu göstermeye çalıştı. Her defasında öne sürdüğü fikirleri ve örnekleri Bohr tarafından çürütülen Einstein, daha sonraları kuantum kura-

minı reddedilemeyecek bir olgu olduğunu ve doğanın gerçeklerini açıklamada önemli bir rolü olduğunu istemeyerek de olsa kabullendi. Bundan sonra Einstein çabalarını kuantum kuramının eksikleri olduğunu göstermeye yoğunlaştırdı. 1935 yılında Boris Podolsky ve Nathan Rosen ile birlikte yazmış olduğu ünlü makalede, günümüzde EPR paradoksu olarak adlandırılan paradoksu ilk olarak ortaya koydu.

## İlk Raund: Beşinci Solvay Konferansı

Bohr 1927 yılında Brüksel'de yapılan beşinci Solvay konferansında 'Kuantum Postulatu ve Atom Kuramında Yeni Gelişmeler' başlıklı bir konuşma sundu. Bu konuşmada yeni geliştirmiş olduğu tamamlayıcılık (complementarity) prensibinin ana hatlarını anlattı. Einstein, Bohr'un fikirlerini çürütmek amacıyla şöyle bir düşünce deneyi önerdi: bir elektron demeti, üzerinde ince bir yarık bulunan bir perdeye çarpsın. Yarık çok ince olduğu için, yarıktan geçen elektronlar kırınımına uğrarlar ve olası her yönde hareket edebilirler. Birinci perdenin arkasında ikinci bir perde daha olsun. Bu durumda kırınımına uğrayan elektronlar ikinci perdenin herhangi bir yerine çarpabilirler. Kuantum mekaniği elektronların ya-

rıktan geçtikten sonra ikinci perdeye doğru olan hareketlerini küresel bir dalga olarak açıklıyor. Bu dalga fonksiyonun karesinin ikinci perde üzerindeki herhangi bir yerdeki değeri, elektronun o noktaya çarpma olasılığını verir. Buna göre elektron, perdeye varmadan hemen önce potansiyel olarak perdenin her yerinde bulunur fakat perdeye tek bir noktada çarpar. Einstein'e göre bunun anlamı, dalga fonksiyonunun perdenin iki farklı yerinde aynı andaki davranışının birbiriyle bağlantılı olduğudur. Bu da görelilik kuramına aykırıdır. Ayrıca kuantum kuramı, elektronun neden B noktasına değil de, A noktasına çarptığını açıklamıyordu. Einstein'a göre bu, kuantum kuramının eksik olduğunun bir göstergesiydi. Einstein bunun çözümünün olasılıkların tek bir elektron için değil çok sayıda elektronun istatistiksel bir özelliği olduğunu öne sürdü. Bohr diğer fizikçiler bunun bazı elektronların negatif kinetik enerjiye sahip olmasına neden olacağını göstererek Einstein'ın fikir-



lerini bir ölçüde çürüttüler. Ancak ilk raund bir çözüme ulaşmadan bitti.

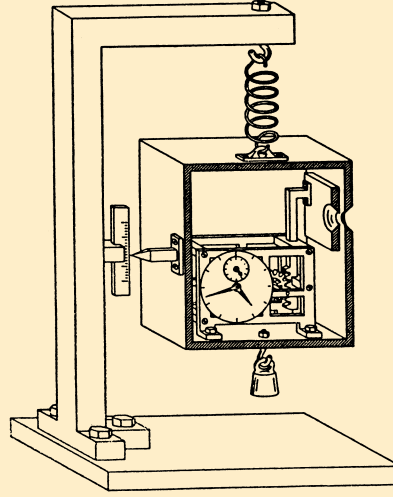
## İkinci Raund: Altıncı Solvay Konferansı

1930 yılında yapılan altıncı Solvay konferansına Einstein dahice tasarlanmış bir düşünce deneyi ile geldi. Belirsizlik ilkesinin tutarsız olduğunu göstermek için, kendisinin genel görelilik kuramı ile ortaya atmış olduğu enerji ile kütlede eşdeğer olduğunu gösteren  $E=mc^2$  formülünü kullandı. Buna göre kütledeki değişimi ölçerek enerjideki değişimi bulmak mümkün. Eğer aynı anda bu değişimin olduğu zamanı da tesbit edebilirse, enerji ile zaman arasındaki belirsizlik ilişkisinin yanlış olduğunu göstermiş olacaktır.

Einstein bunun için bir terazinin ucunda asılı duran bir kutu tasarladı. Kutunun içi ışık dolu ve iç duvarları mükemmel yansıtıcılıkta, dolayısıyla ışık duvarlardan sürekli yansıyor daima kutunun içinde kalıyor. Kutunun yüzlerinden birinde bir delik var. Bu deliğin üstünde de bir saat tarafından kontrol edilen bir açma kapama mekanizması var (bkz şekil). Belli bir anda delik açılıyor ve içeriden dışarıya tek bir foton bırakılıyor. Aynı anda kutunun içindeki ışığın toplam enerjisinin değişimi, terazinin göstergesinde kütledeki değişim olarak okunuyor. Her iki ölçüm, yani fotonun bırakıldığı zaman ve kütledeki, dolayısıyla da enerjideki değişim, istenen kesinlikte ölçülebilir. Böylece Einstein'a göre enerji ile zaman arasındaki belirsizlik ilişkisinin yanlış olduğu gösterilebilir.

Bu düşünce deneyi Bohr için tam bir şok oldu. Bohr'un o günkü halini yakın arkadaşı ve meslektaşı Rosenfeld şöyle anlatıyor:

Bohr şok olmuştu... çözümünü bir türlü bulamıyordu. Bütün gece son derece mutsuzdu. Toplantıya katılan fizikçilerin birinden diğerine giderek Einstein'ın haklı olamayacağına onları ikna etmek için çabalıyordu. Eğer Einstein haklıysa bunun fiziğin sonuna olacağını söylüyordu. Fakat bir türlü Einstein'ın iddialarını çürütmeyi başaramıyordu. İki rakibin kulübü terkedişlerini hiçbir zaman unutamayacağım: Einstein yüzünde alaycı bir gülümseme, heybetli bir şekilde sessizce yürüyor, Bohr ise son derece heyecanlı sanki Einstein'ı



yakalamak için koşturuyormuş gibi görünüyor.

O gece Bohr, sabaha kadar uyumadan Einstein'ın iddialarını çürütmek için çalıştı. Bunda da başarılı oldu. Einstein'ın genel görelilik kuramına göre, bir saatin kütle çekimi alanı içindeki konumu, saatin hızını belirler. Başka bir deyişle kütle çekimi içindeki farklı konumlarda zaman farklı hızlarla değişir. Kutudan bir foton bırakıldığında kutu hafiflediği için kütle çekimi alanı içindeki yeri de değişir. Bu da zaman ölçümünde bir belirsizliğe yol açar. Genel göreliliğin öngördüğü bu faktörleri gözönüne alınca Bohr, birkaç satırlık basit bir hesaplama Heisenberg belirsizlik ilkesinin tutarlı olduğunu göstermeyi başardı. Einstein'ın tasarladığı kutuyu kullanarak hem enerjiyi, hem de zamanı istenen kesinlikte ölçmek mümkün olamaz. Einstein'ın geliştirmiş olduğu genel görelilik kuramı Einstein'ı sırtından bıçaklamış oldu. Bunun üzerine Einstein belirsizlik ilkesinin yanlışlığını gösterme çabasından vazgeçti. Ama yine de kuantum mekaniği ile yıldızları barışmamıştı.

## Üçüncü Raund: EPR Paradoksu

Nazilerin iktidara gelmesi sonucu Einstein 1933 yılında Almanya'yı terketmek zorunda kaldı ve Amerika'ya yerleşti. Burada Einstein, çabalarını kuantum mekaniğinin bütünlüğü olan bir kuram olmadığını, yani eksiklikleri olduğunu göstermeye yoğunlaştırdı. 1935 yılında Boris Podolsky ve Nathan Rosen ile yazdığı "Fiziksel Gerçekliğin Kuantum Mekaniğin Anlatımının

Tam Olduğu Kabul Edilebilir mi?" başlıklı makalesinde Einstein'ın niyeti, artık kuantum mekaniğinin yanlış olduğunu değil fakat tüm gerçeği söylemediğini göstermekti. Einstein ve arkadaşları bir fizik kuramının bütünlüğü için ise şu kriteri kullandılar: her fiziksel gerçeklik için kuramda bir kavram varsa kuram bir bütündür. Eğer kuantum kuramının açıklamadığı ya da hiç dokunmadığı bir takım gerçekliklerin varlığını gösterebilirse kuantum kuramının eksik olduğunu göstermiş olacaktır. Böylece Bohr'un kuantum kuramının bütünlüğü olan bir kuram olduğu iddiasını çürüterek tartışmayı kazanıp konuyu da kapamış olacaktır.

Einstein'ın savında anahtar konumunda olan kavram fiziksel gerçeklik kriteriydi. Einstein fiziksel gerçekliği şöyle tanımladı: Eğer bir sistemi hiç bir şekilde rahatsız etmeden o sistemle ilgili bir fiziksel miktarın değerini kesin olarak tahmin edebiliyorsak o fiziksel miktara karşılık gelen bir fiziksel gerçeklik vardır. Bohr'un bu konuda konumu biraz daha farklıydı. Bohr fiziksel gerçekliğin var olduğunu varsayıyor ve fiziğin amacının bu gerçeklikle ilgili sınırları olabildiğince ortaya çıkarmak olduğunu söylüyordu.

Einstein, Podolsky ve Rosen şu iki alternatifini önerdiler: (1) ya gerçeğin dalga fonksiyonu ile kuantum mekaniğin betimlenmesi eksik (2) ya da birbirini tamamlayıcı olan özelliklere karşılık gelen fiziksel miktarlar aynı anda gerçekliğe sahip olamazlar yani biri gerçekse diğeri gerçek olamaz. Einstein birinci alternatifini Bohr ise ikinci alternatifini savunuyordu. EPR'ın fiziksel gerçeklik kriterini kullanırsak ikinci alternatifini savunmak çok güçleşmektedir. (EPR deneyinin daha geniş bir anlatımı için Sadi Turgut'un bu sayıdaki 'Parçacıklar Telepati Yapar mı?' yazısına bakınız.)

EPR makalesi tartışmayı bitirmedi. Tartışma odağı daha farklı eksene kaydı: Gerçeğin doğası ve bunu açıklamada kuramın rolü. Bu tartışma günümüzde de devam etmekte ve fizik var olduğu sürece devam edecek gibi görünüyor.

Yusuf İpekoğlu

Kaynaklar  
Honer, J., *The Description of Nature*, Clarendon Press Oxford 1987  
Whitaker, A., *Einstein Bohr and the Quantum Dilemma*, Cambridge University Press 1996

