

KUANTUM TEORİSİ BAĞLAMINDA EINSTEIN'IN NEDENSELLİK DÜŞÜNCESİ VE ETKİLERİ

Mehmet Emin ŞEKER*
Hasan AYDIN**

ÖZ

Newton fiziğinde köklü bir yere sahip olan nedensellik ilkesi, maddenin parçacıklı yapısının keşfinden sonra, gelişen kuantum fiziğinde ortaya çıkan süreksizlik, belirsizlik, dalga fonksiyonunun çöküşü gibi bulgularla ciddi şekilde sorgulanır ve hatta reddedilir hale gelmiştir. Nitekim kuantumun Kopenhagcı yorumu, makro düzeyde istatistiksel bir nedensellikten söz edilebilese bile, mikro düzeyde doğaya için bir nedenselliğin bulunmadığını savunmuştur. Buna karşın Einstein ve onu izleyen kimi fizikçiler, kuantum teorisinin eksik olabileceğini veya farklı yorumlanabileceğini, bu yüzden doğaya için nedenselliğin reddi konusunda aceleci davranmamak gerektiğini savunmuşlardır. Onlara göre, belki de mikro düzeyde nedenselliğin aleyhine gibi görünen durumlar, ontolojik değil epistemolojik kaynaklıdır; bundan emin olmak gerekir. Bu iddia aslında sorunu felsefi bir bağlama taşımakta, ontolojik ve epistemolojik olan arasında bir ayrım yaparak, epistemik gerekçelerle ontolojik nedenselliğin reddinin sorunlu olabileceğini ima etmektedir. Buna rağmen Kopenhagcılar, kuantum düzeyinde ontolojik bir ilke olarak nedenselliğin işlemediği düşüncesi, fizikçilerin çoğunluğunu ikna etmiş ve doğaya için bir nedenselliğin bulunmadığı düşüncesi genel kabul görmüştür. Fakat zaman içerisinde Einstein'ı takip ederek bu düşünceye karşı çıkan fizikçiler de yetişmiştir. İşte bu çalışmanın amacı, kuantum fiziğinin Kopenhag yorumuna karşı Einstein ile başlayan ve doğaya için nedenselliğin bulunduğu iddiasını dillendiren yaklaşımın geldiği noktayı, Einstein sonrası çalışmalar ve yorumlar ışığında ortaya koymaktır. Böylelikle aslında, doğaya için bir nedenselliğin bulunup bulunmadığı konusundaki tartışmaların tümüyle sonlanmadığını, bu konuda hala felsefi ve bilimsel düzlemde lehte ve aleyhte pek çok argümanın geliştirildiğini göstermeyi umuyoruz.

Anahtar Kelimeler: Nedensellik, Süreksizlik, Belirsizlik, Einstein, Kuantum Teorisi

EINSTEIN'S INSIGHT OF CAUSALITY AND ITS EFFECTS IN THE CONTEXT OF QUANTUM THEORY

ABSTRACT

The causality principle, which has a deep-rooted place in Newtonian physics, has become seriously questioned and even rejected with findings such as discontinuity, uncertainty, collapse of the wave function that emerged in the developing quantum physics after the discovery of the particulate structure of matter. As a matter of fact, the Copenhagenian interpretation of quantum argued that even if there is statistical causality at the macro level, there is no causality inherent in nature at the micro level. On the other hand, Einstein and some physicists who followed him argued that quantum theory might be incomplete or could be interpreted differently, so one should not be hasty in rejecting causality inherent in nature. According to them, perhaps the situations that seem to be against causality at the micro level are epistemological rather than ontological; you need to be sure of that. This claim actually carries the problem to a philosophical context, making a distinction between ontological and epistemological, implying that the rejection of ontological causality on epistemic grounds may be problematic. Despite this, the Copenhageners' thought that causality does not work as an ontological principle at the quantum level convinced the majority of physicists, and the idea that there is no causality inherent in nature is generally accepted. However, over time, some physicists who followed Einstein and opposed this idea were also trained. The aim of this study is to reveal the point reached by the approach that started with Einstein against the Copenhagen interpretation of quantum physics and voiced the claim that there is causality inherent in nature, in the light of post-Einstein studies and interpretations. In this way, we hope to show that the debates about whether there is an inherent causality in nature are not completely over, and that there are still many arguments for and against this issue on the philosophical and scientific plane.

Key Words: Causality, Discontinuity, Uncertainty, Einstein, Quantum Theory

* Dr. Öğretim Üyesi, Giresun Üniversitesi, mehmet.emin.seker@giresun.edu.tr,
ORCID: 0000-0003-4463-6898

** Prof. Dr. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Felsefe Bölümü,
haydin@omu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0692-3725

FLSF (Felsefe ve Sosyal Bilimler Dergisi)

2022 Bahar, sayı: 33, ss. 297-328

Makalenin gelış tarihi: 14.02.2022

Makalenin kabul tarihi: 13.04.2022

Web: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/flsf>

FLSF (Journal of Philosophy and Social Sciences)

Spring 2022, issue: 33, pp.: 297-328

Submission Date: 14 February 2022

Approval Date: 13 April 2022

ISSN 2618-5784

Giriş

Her olayın bir nedeni (cause) olduğu, aynı koşullar altında aynı nedenlerin aynı sonuçları doğuracağı şeklinde formüle edilen *nedensellik ilkesi*, felsefe tarihi boyunca sürekli tartışma konusu olmuştur. İlke, öz olarak ontolojik dünyadaki neden-sonuç ilişkisine gönderme yapmakta, neden ile sonuç arasında zorunlu bir bağın bulunduğunu varsaymaktadır. Bu haliyle neden, sonuç üreten bir güç olarak tasarlanmakta, aynı zamanda, ilke zaman üstü olarak konumlandırıldığı için geleceğin geçmişe benzediğini, evrende ard zamanlı neden-sonuç bağıyla işleyen bir ilişkiler ağının bulunduğunu varsaymaktadır. İşte felsefe tarihindeki tartışma da tam bu ard zamanlı *zorunlu bağlantı* kavramı üzerinde ortaya çıkmaktadır. Daha genel söylendiğinde, tartışmaların odak noktasını, ilkenin ve ilkenin varsaydığı neden ile sonuç arasındaki zorunlu bağın, *doğadan* mı yoksa *insan zihninden* mi kaynaklandığı sorunu ile ilkenin kendisinin ve ilkenin varsaydığı neden ile sonuç arasındaki *zorunlu bağın tüketircesine kanıtlanıp kanıtlanmayacağı* sorunu oluşturmaktadır. Tartışmayı takip edebilmek için, doğal neden ile mantıksal nedeni ayırmak önem taşımaktadır.¹ Özlem'in deyişiyle, mantıksal anlamda neden (reason), bir kanıtlama işleminde kanıt durumunda bulunan önermede dile getirilen iddiaya gönderme yaparken, doğal neden (cause) ise bir tanıtlama işleminde tanıt durumundaki önermede dile gelen nesne ve olgu durumuna gönderme yapar.² Şu halde, mantıksal anlamdaki nedenin (reason) sonucu zorunlu kıldığı doğrudur; ancak aynı şeyi olgular ve olaylar dünyasındaki neden (cause) için söylemek olanaklı mıdır?³ İşte felsefe tarihindeki tartışmanın merkezini bu soru belirlemektedir.

Felsefe tarihinde, nedensellik ilkesinin bizzatı *doğanın kendisinden kaynaklandığı* ve ilke olmaksızın devinimi ve değişimi açıklamanın olanaksız olduğunu, bu nedenle, nedensellik ilkesinin zorunlu olduğunu savunanlar bulunduğu gibi, ilkenin *insan zihninin bir ürünü* olduğunu söyleyerek ontolojik nedensellikten kuşku duyanlar da olmuştur.⁴ Tartışma gerçekten ilginçtir; eğer bir bütün olarak ilke ve ilkenin dayandığı neden ile sonuç arasındaki zorunlu bağ temellendirilemez ise, bu ontolojik, epistemolojik ve hatta aksiyolojik alanlarda önemli sorunlara yol açacak düzeydedir. Zira nedensellik ilkesi

¹ Schopenhauer, bu iki nedenin felsefe tarihinde sık sık birbirine karıştırıldığını söyler. Bkz. Arthur Schopenhauer, *Yeterli Temel İlkesinin Dörtlü Kökü*, çeviren: A. Onur Ateş, İstanbul: Doğubatu Yayınları, 2020, s. 42 vd.

² Özlem, mantıksal neden ile doğal nedeni ayırmak için Türkçede sebep ve neden arasında bir ayırım yapmakta, mantıksal nedeni, sebep; olgulara, olaylara gönderme yapan nedeni ise, neden sözcüğüyle karşılamaktadır. Ancak bu ayırımın yeterince literatüre yerleştiği söylenemez. Bkz. Doğan Özlem, *Mantık*, İstanbul: Anahtar Yayınları 1994, s. 134.

³ Ahmet Cevizci, *Felsefe Sözlüğü, Paradigma Yayıncılık, İstanbul 2010, 1383; Doğan Özlem, Mantık, Anahtar yayınları, İstanbul 1994, s.*

⁴ Max Planck, *Nedensellik Yasası ve İrade Özgürlüğü, Modern Doğa Anlayışı ve Kuantum Teorisine Giriş* içinde, çev. Yılmaz Öner, İstanbul: Spartaküs Yayınları, 1996, 20-53.

olmaksızın ontolojik düzlemde, varlıkların ve olayların oluşumunu ve değişimini tesadüf dışında birbiriyle ilişkilerinin olduğunu söylemek imkansızlaştığı gibi, doğal olgu ve olaylar için betimseli aşan, açıklama odaklı bir bilgi ortaya koymak da imkansız hale gelecektir; çünkü nedensellik ilkesi olmaksızın olgular ve olaylar hakkında genellemeler yapmak, tekil olgu ve olayları bir üst yasaya, üst bir genellemeye ya da bir teoriye giderek açıklamaya çalışmak da sorunlu bir hale gelecektir. Aksiyolojik bakımdan ise, özne ile eylemleri arasındaki bağı kurmaya olanak kalmayacaktır. Felsefe tarihinde, nedensellik ilkesini olumlayan, söz konusu ilke olmaksızın varlığın meydana gelişini, devinimini açıklayamayacağımızı, onların gerçek bilgisinin elde edilemeyeceğini ileri süren düşünürlerin çoğunlukta olduğu gözlenir. Ancak nedensellik ilkesinden kuşku duyanların da görmezden gelinemeyecek denli az olmadıkları belirtilmelidir. Nedensellik ilkesinin ontolojik dünyada geçerliliğinden kuşku duyanlar arasında, bilindiği gibi, Aenesidemus, Sextus Empiricus, Gazzali, Ochamlı William, Nichalus de Autrecourt, Nicholas Malebranche, David Hume gibi şöhretli filozoflar yer almaktadır. Bunların çıkış noktaları ve amaçları farklı olsa da, hemen hepsinin, ontolojik bir ilke olarak nedenselliğin ve neden ile sonuç arasında varsayılan *zorunlu bağ*ın bir şekilde temellendirilemezliğini savunmaya yöneldikleri gözlenir. Bunlara göre zorunluluk mantıksal düzlemde geçerlidir; ontolojik dünyada zorunluluktan söz edilemez, bu dünyada her şey olasıdır.⁵

Felsefe tarihinde, ontoloji, epistemoloji ve aksiyoloji alanlarında kadim bir geçmişi olan nedensellik tartışmanın⁶, sadece felsefe alanında kalmadığı görülür. Özellikle Newton fiziğiyle birlikte ilke, doğa bilimlerinin temelini oturtulmuş, deyiş yerindeyse uzun süre doğa bilimi, nedensellik ilkesinin krallığında gelişimini sürdürmüştür. Ancak 20. yüzyılda sorun değişmeye başlamış, kuantum fiziğindeki bulgular, nedensellik ilkesinin tahtını sarsmaya başlamıştır. *Makro* düzeyde işler görünen ilkenin mikro düzeyde işlemediğinin görülmesi, fizikçiler arasında nedensellik sorunu kapsamında köklü tartışmalara yol açmıştır.⁷ Bu durum doğal olarak, fizikçileri, felsefe tarihinde nedensellik ilkesi lehine ve aleyhine ileri sürülmüş çeşitli argümanları yeniden gündeme taşımalarına neden olmuştur.⁸ Fizikçiler arasındaki tartışmada, Albert Einstein ve çevresindekiler ile Max Planck, nedensellik lehine yönelirken, Kopenhaglılar nedensellik aleyhine argümanlara yönelmişlerdir. Böylelikle

⁵ Menno Hulswit, *From Cause to Causation. A Peircean Perspective*, Dordrecht, USA: Kluwer Publishers, 2002, 2-259.

⁶ Stevan Nadler, *Causation in Early Modern Philosophy (Cartesianism, Occasionalism, and Preestablished Harmony)*, USA: The Pennsylvania State University Press, 1993, 4.

⁷ David Bohm, *Causality and Change In Modern Physics*, London: Routledge & Kegan Paul, 1957, 40 vd.; M. Planck, "Doğadaki Nedensellik", *Modern Doğa Anlayışı ve Kuantum Teorisine Giriş* içinde, çev. Yılmaz Öner, İstanbul: Spartaküs Yayınları, 1996, 163-191.

⁸ Bu bağlamda Max Planck'ın yaptığı tüm tartışmaların bir derlemesi için bkz. *Modern Doğa Anlayışı ve Kuantum Teorisine Giriş*, çev. Yılmaz Öner, İstanbul: Spartaküs Yayınları, 1996, s. 20 vd.

fizikte determinizm-indeterminizm tartışması boy vermiştir. Planck'ın deyişiyle, kuantum teorisi ve Werner Heisenberg'in belirsizlik ilkesi, fiziki dünyanın determinist işleyişinin aleyhinde yorumlanmış, fizikte nedensellik ilkesinin tümünden reddine yol açmıştır. Ona göre, 'daha yakından bakıldığında, bu yadsımanın, tasarı dünyasını duyular dünyasıyla karıştırmaktan doğan bir aceleciliğe dayandığını söylemek gerekir.'⁹

İşte bu çalışmanın, dayanak noktası, kuantum fiziğinin en yaygın yorumu olarak görülen ve nedenselliğin geçerliliğini sorunlu hale getiren Kopenhag yorumuna karşı Einstein'ın öncülük ettiği nedensellik savunusu ve bu savununun Einstein sonrası geldiği noktayı, sonraki çalışmalar ve yorumlar ışığında ortaya koymak ve tartışmaktır. Bu bağlamda şu sorulara yanıtlar aranacaktır: İndeterminizmi savunan Kopenhagcılar, nedenselliği yadsırken gerçekten Planck'ın söylediği gibi aceleci mi davranmışlardır? Kuantum teorisi kapsamında nedenselliğin ve doğal olarak determinizmin savunulmasında Einstein'ın başlattığı süreç, ondan sonra nasıl devam etmiştir? Olgulardan hareketle kuantum teorisinde nedenselliği dışlayan Kopenhag yorumunun karşısına gerekçeli alternatif bir yorum konabilmiş midir? Kuantum teorisi kapsamında, nedensellik bağlamında yapılan tartışmalar nihai bir sonuca bağlanmış mıdır?

300 Newton Fiziğinden Kuantum Fiziğine: Yeni Bulgular

Fizikteki nedensellik tartışmalarını kavrayabilmek ve tartışmaları tarihsel bir zemine oturtabilmek için, şimdilerde modası geçmiş diye nitelenen Galileo ve Newton'la başlatılan klasik fiziğe ve temel sayılıtlarına geri dönmek kaçınılmazdır. Emmanuel Monnod, eski ve modası geçmiş diye nitelediği mekanik evren tasarımına dayan Newton ve Galileo'nun fiziğinin iki temel ilkeye dayandırıldığını söyler. Bu iki ilke, *nedensellik* ve *nesnelliktir*. Nedensellik, mekanik evrende determinizme olan inancı ifade eder; bu açıdan bir doğal olgu ve olayı tanımlamak ve açıklamak için nedenlerin ve nedensel ilişkilerin analizi olmazsa olmazdır. Bu bakımdan klasik fizikte, nedensellik ilkesinin, şeyleri birbiriyle ilişkilendirdiği için, doğal olgu ve olayların hem açıklanmasına hem de kesin olarak öngörülmesine izin verdiğini söylemek gerekir. Bu, açıkçası nedenselliğin, şeylerin şu anki durumlarının açıklamasının yanında, gelecekteki durumlarının açıklaması için de işlevsel olduğunu gösterir. Böylesi bir evren makine gibi olmuş bitmiş bir evrendir ve her şey mekanik yasalar uyarınca öngörülebilirdir. Nesnellik ise, gözlemciye herhangi bir atıfta bulunmadan doğrudan tanımlayabileceğimiz bir dış gerçekliğin varlığına olan inancı ifade eder. Bu, bir olgu veya olayın bir ve yalnızca tek bir açıklaması olduğu ve bu açıklamanın olgu ve olaya karşılık geldiği anlamına gelir. Bu uyum, aynı

⁹ Max Planck, "Doğadaki Nedensellik", *Modern Doğa Anlayışı ve Kuantum Teorisine Giriş* içinde, çeviren: Yılmaz Öner, Spartaküs Yayınları, İstanbul 1996, s. 174 vd.

zamanda doğruluğun da kriteri durumundadır. Şu hâlde geleneksel fizikte, dış dünya ile benlik, nesne ile özne, nesnellik ile öznelilik arasında keskin bir ayırım söz konusudur.¹⁰ Anlam teorisi bağlamında da gerçekçilik (realizm), dışsalcılıkla ilişkilendirilir. Dışsalıcı, bir ağaçtan veya hayaletten anlamlı bir şekilde bahsetmek için, doğru zihin durumunda olmanın, bir ağacın doğru zihinsel resmine yahut tasarımına sahip olmanın kendi başına yeterli olmadığını; bunun yerine, kişinin ağaçla doğru (nedensel) bağlantıya sahip olması gerektiğini öne sürer. Zihinsel resim ve tasarım ile dışsal gerçeklik arasında bir bağ olmazsa, solipsizm ve(ya) öznel idealizm kaçınılmaz hale gelecektir. Bu bakımdan klasik fizikteki nedensellik ile realizm ya da dışsal gerçeklik arasında kopmaz bir bağ bulunmaktadır; tasarım hep dışsal bir şeyin etkisiyle oluşmuş bir tasarımdır.¹¹ Ben-Menahem'in vurguladığı gibi, yirminci yüzyılın başına değin realistlerin iyimser olmak için birçok nedeni vardı. Russell ve Moore gibi önde gelen filozoflar dikkatlerini gerçekçiliğin savunmasına adanmışlardı ve bilim solipsizmi ve öznel idealizmi reddetmelerini destekliyor gibiydi.¹² Ancak klasik fizikte çözülemeyen bazı problemlerin ortaya çıkması ve bunlara getirilen çözüm yolları kuantum teorisinin doğmasına neden olunca işler değişmeye başlamıştır. Kuantum teorisinde, klasik fizikten ayrı birkaç büyük farklılık (ve problem) hemen dikkatleri çeker; bunlardan birincisi *süreksizlik*, ikincisi *belirsizlik*, üçüncüsü ise *süperpozisyon* (ya da bununla bağlantılı olarak *dalga fonksiyonunun çökmesi*) durumudur.

Süreksizlik, ilk olarak Max Planck tarafından ortaya atılmış ve daha sonra elektronların atom içindeki hareketlerini açıklamak için (Bohr tarafından) kullanılmıştır. Biz klasik fiziğe göre *makro düzeyde* şeylerin birbirleriyle ard zamanlı ilişki içinde sürekli olduğu bir dünyada (olayların kesintisiz bir akış halinde cereyan ettiği bir dünyada) yaşadığımızı düşünürüz; ancak kuantum fiziği *mikro* dünyada olayların sürekli değil süreksiz olduğunu söylemektedir. Sözgelimi elektronların sürekli yörüngeleri yoktur, belirli izin verilmiş yörüngelerde bulunurlar ve enerji alıp verdiklerinde (absorbsiyon ve emisyon yaptıklarında) izinli diğer yörüngelere aniden, zaman ve mekan içinde olmadan,¹³ yani bir yörünge veya yol izlemeden birdenbire geçiş yaparlar, işte bunlara kuantum sıçramaları adı verilir.¹⁴ Bu durum maddenin ve enerjinin

¹⁰ Emmanuel Monnod, "Einstein, Heisenberg, Kant: methodological distinction and conditions of possibilities", *Information and Organization* 14 (2004):106-107, doi: <https://doi.org/10.1016/j.infoandorg.2003.12.001>

¹¹ Yemima Ben-Menahem, "Quantum theory and the flight from realism", *Book reviews / Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 33 (2002): 588, doi: [10.1016/S1355-2198\(02\)00022-9](https://doi.org/10.1016/S1355-2198(02)00022-9)

¹² Yemima Ben-Menahem, "Quantum theory," 587

¹³ Werner Heisenberg, *Parça ve Bütün*, çev. Ayşe Atalay, İstanbul: Düzlem Yayınları, 1990, 82

¹⁴ Heisenberg, *Parça ve Bütün*, 82

süreksizliğiyle ilgilidir.¹⁵ Maddenin kuantumlu yapısı keşfedildikten sonra, bazı fizikçileri nedenselliğin olmadığını düşüncesine iten ilk problem, işte bu ard zamanlı sürekliliği kesintiye uğratan süreksizlik sorunundan kaynaklanmaktadır. Çünkü nedensellik ilişkisi, doğası gereği uzay ve zamanda sürekliliği gerektirir.

Fizikçileri nedenselliğin olmadığına ikna eden ikinci kanıt, kuantum dünyasındaki belirsizlikten gelmiştir. Belirsizlik, atomik boyutlardaki olaylarda, bilgi elde etmenin sınırlılığıyla ilgilidir. Werner Heisenberg tarafından ortaya atılan belirsizlik ilkesi, kuantum fiziğinin deyiş yerindeyse kalbini oluşturmaktadır. İlke, “*Heisenberg’in bir eşlenik değişken çiftinin her iki üyesinin aynı anda belirlenmesindeki kuantum belirsizliğinin hiç sıfır olamamasına ilişkin söylemin*” ifade eder.¹⁶ Normal boyutlarda, her ölçümde ölçen ile ölçülen etkileşime girer ancak bu etkileşim ihmal edilebilirdir ve ölçüm sonuç üzerinde önemli bir etki yaratmaz. Ancak kuantum dünyasında etkileşim halinde olan şeyler birbirini sonucu değiştirecek biçimde etkilerler.

Bohr başlangıçta (süreksizliği kabul etmesine rağmen)¹⁷ belirsizlik ilkesinin epistemolojik olabileceğini düşünse de sonradan fikrini değiştirmiş ve belirsizliği ontolojik statüye¹⁸ yükseltmiştir. Kopenhag yorumu olarak bilinen kuantum teorisinin klasik yorumu hem doğanın yapısında süreksizlik olduğunu hem de ölçen ile ölçülen birbiriyle bağlantılı olduğu için burada meydana gelen belirsizliğin de ontolojik olduğunu savunur. Süreksizlik durumunda bizden kaynaklanan bir bilgi eksikliği durumu olamaz çünkü ortada gözlemlenebilecek bir olgu ve elde edilebilecek bir bilgi yoktur. Bununla birlikte belirsizlik ilkesi tek başına ele alındığında, bu belirsizliğin bizim bilgimizdeki eksiklikten kaynaklanan bir belirsizlik olduğu savunulabilir, fakat süreksizliğin varlığı bir kez kabul edilirse, belirsizliğin bizdeki bilgi eksikliğinden kaynaklandığı kabul edilemez. Çünkü süreksizlik ontolojiktir, yani doğanın bir özelliğidir. Bu yüzden kuantum fiziğinde henüz belirsizlik ilkesi (1927 yılında) ortaya atılmadan önce, nedenselliği tartışmalı hale getiren ilk önemli problemin süreksizlikten (1900 yılında) kaynaklandığı bilinmektedir. Heisenberg, belirsizlik ilkesini ortaya attıktan sonra belirsizliği süreksizlikle ilişkilendirirken, Bohr, belirsizliğin ölçümlerde kullanılan radyasyon ve madde parçacıkları arasındaki bir etkileşim sırasında enerji ve momentumdaki süreksiz bir değişimin sonucu olmadığını

¹⁵ Fizikçilerin tartışmalarda süreksizlik için kullandıkları kelime “discontinuity”dir. Ancak burada anlatılmak istenen matematiksel bir süreksizlik değil de enerjinin aldığı kesiklilik (discrete) halidir.

¹⁶ John Gribbin, *Mikro-Nano Dünya ve Onu A’dan Z’ye Güden Kuantum Ansiklopedik Sözlük*, çev. Ömür Akyüz, İstanbul: Alfa Yayınları, 2021,54

¹⁷ Heisenberg, *Parça ve Bütün*, 87-91. Burada 1926’da henüz belirsizlik ilkesi ortaya atılmadan önceki tartışmaların süreksizlikle ilgili olduğu görülecektir.

¹⁸ Scott Tanona, “Uncertainty in Bohr’s response to the Heisenberg microscope”, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 35 (2004): 501–503, doi: <https://doi.org/10.1016/j.shpsb.2004.04.007>

ısrarla vurgulamıştır. Ona göre, belirsizlik, bireylerin (parçacık, elektron) uzay-zaman koordinasyonundaki değişikliklerini kesin olarak tanımlamanın imkansızlığından kaynaklanmaktadır.¹⁹ Bohr'a göre belirsizliğin en büyük nedenlerinden birisi, ölçüm aracıyla etkileşimi ihmal etmenin imkansızlığından doğmaktadır.²⁰ Bu noktada Heisenberg belirsizlikleri süreksizlikle ilişkilendirmişken Bohr belirsizliği ontolojik olarak, tüm kuantum sürecinin bölünmezliği açısından yorumlamıştır.²¹ Erwin Schrödinger de nedensellik için sorun oluşturacak en büyük problemin süreksizliğin kabulü olduğunu vurgulamıştır.²² Bu yüzden olsa gerek Schrödinger kendi dalga mekaniğinde sürekliliğin olduğunu varsaydığı (nedenselliğin işlediği) ama belirsizlikten kaçınılamayacağını ileri sürdüğü bir sistem oluşturmaya çalışmıştır.²³

Fizikçileri şaşırtan bir diğer durum, dalga fonksiyonunun çökmesi durumudur. Işığın hem dalga hem parçacık özelliği göstermesinin anlaşılması ve çift yarık deneyinde (hem süreksizlik hem de belirsizlik problemlerini içinde barındırır) ortaya çıkan desenin yarattığı sorunların da nedensellik tartışmasına etki ettiği görülür. Temel problem, kuantum dünyasında hem dalga hem parçacık özelliği gösteren fotonun (veya parçacığın) gözlem yapıldığında durum değiştirmesidir. Kuantum fiziğinde, bir parçacık iki seçenekle karşı karşıya kaldığında (iki yarıktan birinden geçmek gibi) gözlem yapılmadıkça süperpozisyon deneni her iki seçeneği de içeren bir hal içerisinde bulunur. Bu durumda elektronun veya fotonun (tek bir tane olsa da) dalga gibi davranarak iki yarıktan da geçtiği kabul edilir; ancak gözlem yapıldığında parçacığın sadece tek bir yarıktan geçtiği tespit edilir. Bu hal değişimine, dalga fonksiyonunun çökmesi denir. Bu durum, pek çok yorumcuya göre, gözlemin kuantum dünyasının davranışını değiştirdiğini göstermektedir. Bu yüzden olsa gerek Richard Feynman, çift yarık deneyini anlayabilirsek kuantum teorisini anlayabileceğimizi düşünmektedir.²⁴

Bulguların Yorumu ve Fizikçiler Arasındaki Tartışmalar

İşte sözünü ettiğimiz, *süreksizlik, belirsizlik ve dalga fonksiyonunun çöküşü* gibi problemler, kuantum fiziğinin en önemli konuları arasında olup fizikçiler arasındaki felsefi bölünmelerin çıkış kaynağını teşkil eder. Sorun, bu olayların nasıl yorumlanacağı sorunudur. Kopenhaglılara, bu olayları,

¹⁹ Niels Bohr, *Collected Works*, Volume 6, J. Kalckar (ed.) Amsterdam: North-Holland, 1985,93

²⁰ Tannonna, "Uncertainty in Bohr's response", 502

²¹ Tannonna "Uncertainty in Bohr's response", 505

²² Erwin Schrödinger, *Doğa ve Yunanlılar&Bilim ve Hümanizm*, çev. Aynur Başpınar, İstanbul: Babil Kitap, 2020, 148-178. Schrödinger, kitabının otuz sayfasını süreksizlik problemine ayırmıştır.

²³ Schrödinger, *Doğa ve Yunanlılar*, 161-162

²⁴ John Gribbin, *Mikro-Nano Dünya*,102

gözlemciden bağımsız bir dünyanın ve nedensellik ilkesinin aleyhine yorumlamışlardır. Olayların, gözlemciden bağımsız bir dünyanın ve nedensellik ilkesinin lehine yorumlanması mümkün değil midir? Planck, Einstein ve daha sonra onlara katılan Schrödinger ile Louis de Broglie, kuantum sıçramalarının, dolayısıyla süreksizliğin bulunmadığı nedenselliğe bağlı bir teori oluşturmaya çalışmışlardır. Kopenhag grubu genelde ekip halinde çalışırken, Einstein ve nedensellik yanlısı diğer bilim insanları, bireysel çalışmalarla nedenselliği savunmaya yöneltmişlerdir.

Einstein, felsefi olarak, öznenen bağımsız bir dış dünyanın varlığına ve nedensellik ilkesinin geçerliliğine inanmaktadır. Ona göre, nedensellik nesnel gerçeklik fikri birbirine bağlıdır; evren, gözlemciden ve onun etkisinden bağımsız bir şekilde var olup, nedensellik kurallarına göre işler. Hatta ona göre, nedensellik ilkesini gözlemciden bağımsız dış dünyanın varlığının teminatıdır.²⁵ Bu yüzden Einstein, Bohr ve Heisenberg ile tartışmaya girer. Tartışılan ilk problem, nedensellik aleyhine kullanılan süreksizlik sorunuyla ilgilidir. Bohr ve Heisenberg, atomun içindeki elektronun yörüngesinin olmadığını ve süreksiz hareket gerçekleştirdiğini ileri sürerler. Süreksiz, yani kesikli hareketin olduğu yerde nedenselliğin ihmal edileceği açıktır çünkü süreksizlikte iki ardışık hareket arasındaki bağlantı kaybolmuş demektir.²⁶ Heisenberg, düşüncelerini oluştururken hem Mach'dan hem de Einstein'dan²⁷ etkilenmiştir.²⁸ Elbette son noktada Bohr'u da unutmamak gerekir. Heisenberg Einstein ile tartışırken, bir teoride önemli olanın sadece gözlemlenebilenler olduğunu ifade ettiğinde Einstein bunun kabul edilemeyeceğini söyler. Heisenberg şaşırarak Einstein'a kendisinin de görelilik teorisini bu şekilde inşa ettiğini ifade eder. Heisenberg Einstein'ın, görelilik teorisinde mutlak zamanın gözlenememesinden dolayı onu yok sayıldığını ve kendisinin de bunu yörüngeler için (dolayısıyla nedensellik için) yaptığını ifade ettiğinde Einstein'dan şu cevabı alır:

“Belki de ben böyle bir felsefeden yola çıktım. (...) Ama böyle bir felsefe bütün bunlara rağmen anlamsızdır. Ya da daha dikkatli konuşmam gerekirse, gerçekten neyin gözlemlendiğini hatırlamak bulgusal değerdedir. Ama bir teoriyi sadece gözlemlenebilir boyutlar üzerine inşa etmek tamimiyle yanlışır. Çünkü gerçek tam tersidir. Teori önce neyin gözlemlenebileceğine karar verir.”²⁹

²⁵ Schrödinger, *Doğa ve Yunanlılar*, 160

²⁶ Bu bağlantı Hume'un bahsettiği zorunlu bağlantı değildir elbette. Sadece korelasyona dayalı bağlantıdır. Zira makro dünyada bu bağlantı kopukluğu olmamasına rağmen yine de “zorunlu bağlantı” gösterilemez. Ancak bu korelasyonlara bağlı olduğunu kabul ettiğimiz bağlantı olmadan da doğadaki olaylar anlaşılabilir olmayacaktır.

²⁷ Heisenberg, *Parça ve Bütün*, 77. Heisenberg, Einstein'ın izafiyet teorisinden etkilendiğini kabul etmektedir.

²⁸ Burada Platon'dan başlayarak Heidegger ve Husserl'e kadar birçok ismi saymak mümkündür.

²⁹ Heisenberg, *Parça ve Bütün*, 77

Heisenberg'in burada Einstein'ın görelilik teorisinden etkilendiği ve düşüncelerini buna göre şekillendirdiği anlaşılmaktadır. Einstein ise izlediği felsefenin bu noktaya gelebileceğini görünce, onu anlamsız olarak nitelemiştir. Ancak nobel ödüllü fizikçi Gerard't Hooft'a göre aslında görelilik teorisi, yerelliği (locality) garanti altına aldığı için nedenselliği korumaktadır.³⁰ Schrödinger'e göre de klasik fizikte nedensellik ile yerellik birbirine bağlıdır.³¹ Bu yüzden Einstein hayatı boyunca yerel nedensellik fikrinden sapmamıştır. Aslında bu noktada Heisenberg, konuşmalar sırasında Einstein'ın bu fikirlerinin kendisini ikna ettiğini de kabul etmiştir. Ancak Einstein'ın görelilik düşüncesini Mach'dan etkilenecek ileri sürdüğünü ve Mach'ın felsefesinin de kendi felsefesiyle (Heisenberg) uyumlu olduğunu söyleyerek Einstein'ın buna itiraz etmemesi gerektiğini ifade eder ve Einstein'dan bu konudaki düşüncelerini açmasını ister. Einstein, şöyle der:

“Eğer sadece duyuşal izlenimleri ön plana alır, sadece onlardan konuşursak kullandığımız dilden ve düşüncelerimizden oluruz. Başka bir deyişle dünyanın gerçekten var olduğu duyuşal izlenimlerimizin nesnel olana dayandığı gerçeği Mach'da çok az yer tutuyor. Ben böylece naif bir realizmi önermiyorum. Burada çok zor bir sorunla karşı karşıya olduğumuzu biliyorum.”

“Ama şunu da söylemek zorundasınız; sis odasında elektronların yörüngelerini oda yoluyla gözlemliyoruz. Ama sizin görüşünüze göre atomda elektron yörüngesi yoktur. Bu açıkça saçmalık. Elektronun hareket ettiği mekânın küçültülmesiyle yörünge kavramı ortadan kaldırılamaz. (...) Bu tasarımın doğru olduğuna inanıyor musunuz? Süreksiz bir durumdan diğerine geçiş sürecini tam olarak tanımlayabilir misiniz?”³²

Buna karşın Heisenberg şöyle demiştir:

“Bohr'dan öğrendiklerime göre, bu tür bir geçiş hakkında şimdiye kadar sahip olduğumuz kavramlardan yola çıkarak konuşamayız. Bu geçişi (sürecini) mekânda ve zamanda olan bir olay olarak tanımlayamayız. Bu konuda çok az şey söylendi. Ama hemen hiçbir şey bilinmiyor. Işığın kuantasına inanıp inanmamak konusunda karar vermiş değilim. (...) Tıpkı bir film sahnesinden diğerine geçişte olduğu gibi geçiş birdenbire olmaz, bir resim yavaş yavaş daha gücünü yitirirken, diğeri görünür ve daha berraklaşır. Böylece bir süre her iki resim birbirine karışır ve aslında ne kastedildiği de

³⁰ Gerard't Hooft, “Free Will in the Theory of Everything”, *Determinism and Free Will- New In Insights from Physics*, ed. F. Scardigli, Switzerland: Springer Nature, 2019, 30.

³¹ Erwin Schrödinger, *Doğa ve Yunanlılar&Bilim ve Hümanizm*, çev. Aynur Başpınar, İstanbul: Babil Kitap, 2020, 150-151

³² Heisenberg, *Parça ve Bütün*, 80-82

bilinemez. O halde belki de atomun yukarı durumda mı yoksa aşağı durumda mı olduğunun bilinmediği bir ara durum vardır”

Bohr ile Heisenberg atomdaki süreksizliği öne sürmelerine karşın, bu konuda ciddi bir açıklama yapamadıkları için Einstein da bu iddiaların sadece yorum olduğunda ısrar etmiştir. Einstein'ın Heisenberg'e yanıtı şöyledir:

“Ama şimdi düşünceleriniz son derece tehlikeli bir yola kayıyor. (...) Siz birdenbire doğanın gerçekten ne yaptığından değil, doğa hakkında bilinenden söz ediyorsunuz. Doğanın gerçekten ne yaptığını ortaya çıkarmak doğa biliminin işidir.”³³

Einstein'a göre, süreksizlik nedensellikte duraksamaya yol açacağından realizmi tehlikeye sokmaktadır, bu yüzden, süreklilik-nedensellik-realizm ilişkisi onun için birbiriyle bağlantılı şeylerdir. Bu tartışmalar yapılırken daha Heisenberg'in belirsizlik ilkesini ortaya atmadığı düşünülürse, nedensellik ilgili ilk tartışmaların belirsizlik ilkesinden değil süreksizlikle ilgili tartışmalardan çıktığı daha iyi anlaşılır. Daha sonra Heisenberg, ortaya attığı belirsizlik ilkesini süreksizlikle ilişkilendirerek (Planck sabiti (h) belirsizlik ilkesi formülünde yer alır) düşüncelerine matematiksel bir destek sağlamıştır.

İlerleyen yıllarda, Einstein ile aynı düşüncede olan de Broglie, maddeye eşlik eden dalga düşüncesini ortaya atmış ve Schrödinger de bu düşünceleri geliştirerek “*madde dalgalarının elektromanyetik bir kuvvetler alanı yoluyla yayılmasını gösteren bir yasayı dalga denklemi şeklinde formüle etmiştir.*”³⁴ Dalga mekaniği Heisenberg'in geliştirdiği matris mekaniğine denk ancak kuantum olaylarının klasik olarak yorumlanabilmesine izin veren (kuantum sıçramalarına gerek kalmayan)³⁵ bir denklemdir. Schrödinger, kuantum sıçramaları gibi sorunlardan bu denklem ile kurtulabileceğini ummuştur. Daha sonraları bu teori nedenselliği savunan başka bilim insanları için de önemli olmuştur. Buna rağmen Bohr, Pauli ve Heisenberg, atomdaki değişimleri somut bir zaman-mekân ilişkisi içinde ele almanın olanaksızlığı düşüncesinde birleşmişlerdir. Schrödinger ise bu düşünceye; “*kuantum sıçrayışlarına ilişkin tüm tasarım, bir saçmalıktan başka bir şey değildir*” diyerek cevap vermiştir.³⁶ Bohr, bu durumun saçmalığı konusunda Schrödinger'e hak verse de bundan başka açıklamanın olamayacağı konusunda ısrar eder:

“Söylediklerinizde tamamıyla haklısınız. Ama bu kuantum sıçrayışlarının olmadığını göstermez. Bu sadece günlük yaşamın olaylarını ve günümüz fiziğine kadar yapılan deneyleri açıklamakta

³³ Heisenberg, *Parça ve Bütün*, 82-83

³⁴ Heisenberg, *Parça ve Bütün*, 86

³⁵ Rainer Dick, “Quantum jumps, superpositions, and the continuous evolution of quantum states”, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 57 (2017): 116, doi: <https://doi.org/10.1016/j.shpsb.2016.10.003>

³⁶ Heisenberg, *Parça ve Bütün* 89

kullandığımız kavramların, kuantum sıçrayışına ilişkin olayları açıklamakta yetersiz kaldığını ispatlar.”³⁷

Heisenberg, daha sonra Einstein hakkındaki görüşlerini ifade ederken, nedensellikten ve nesnel bir dış dünya varsayımından vazgeçemediği için onu eleştirir ve şöyle der:

“Einstein tüm yaşamını sağlam, değişmez yasalara göre işleyen, bizden bağımsız, dışarıda uzay ve zamanda geçen fiziksel fenomenlerin objektif dünyasına adanmıştı. Teorik fiziğin matematiksel sembolleri, bu objektif dünyayı çizmek ve böylece bu dünyada gelecekte olabilecek fenomenler hakkında önceden tahminde bulunmayı mümkün kılmalıydı. Şimdi ise, atomlara kadar inildiğinde, zaman ve uzayda böylesine nesnel bir dünyanın asla olmadığı ve teorik fiziğin matematiksel sembollerinin gerçek olanı değil mümkün olanı verebileceği iddia ediliyor. Einstein, ayakları altındaki zeminin çekilmesine hazır değildi. Ama daha sonra kuantum teorisi fiziğin önemli bir bölümünü oluşturduğunda Einstein görüşünü değiştirmede. O kuantum teorisini atomsal görüngülerin geçici, kesin olmayan bir açıklaması olarak gördü. “Tanrı zar atmaz” cümlesi Einstein’ın hiçbir şekilde sarsılmasına izin vermediği bir ilkeydi. Bohr buna sadece şöyle cevap verebiliyordu: Ama Tanrı’nın dünyayı nasıl idare edeceğini göstermek bizim gücümüz (dahilinde) değildir.”³⁸

Heisenberg, maddenin artık bizim anladığımız eski madde olmadığını, atomik boyutlarda nesnel bir dünyadan bahsedilemeyeceğini ifade etmektedir. O, gözlemlenmemiş durumların, olasılık dalgasıyla ifade edilebilen istatistiksel ihtimallerinden bahsederken, olasılık dalgasının tanımladığı duruma farklı bir ontolojik statü yükler. Olasılık dalgasının bir şeye eğilim anlamına geldiğini ve Aristoteles felsefesinin kadim “*potentia*” kavramının niceliksel bir versiyonu olduğunu düşünür:

“Olasılık dalgası, bizi bir olayın idesi (soyut kavramı) ile gerçekleşmiş (actual) olay (somut olgu) arasında, kuvve ile fiilin tam ortasında duran acayip türden fiziksel bir gerçeklik ile tanıştırmıştı.”³⁹

Bir başka yerde yine olasılık fonksiyonunu ifade edebilmek için Aristoteles’in “*potentia*”sına başvurur:

“Olasılık fonksiyonu öznel ve nesnel unsurları buluşturur. O (olasılık fonksiyonu) olasılıkları ya da daha doğrusu eğilimleri (Aristotelesçi

³⁷ Heisenberg, *Parça ve Bütün* 90

³⁸ Heisenberg, *Parça ve Bütün* 97

³⁹ Werner Heisenberg, *Fizik ve Felsefe*, çev. İshak Arslan, İstanbul: Küre Yayınları, 2020, 32

felsefenin "potentia"sı) hakkındaki ifadeleri içerir ve bu ifadeler tamamıyla objektiftir, gözlemciye göre değişmez. Aynı şekilde o, sisteme ilişkin farklı gözlemciler için farklı olabilen elbette sübjektif bilgimizle ilgili ifadeleri de içerir. (...) Gözlem işleminin kendisi olasılık fonksiyonunu süresiz biçimde değiştirir; o bütün muhtemel olaylar arasından bilfiil (actual) ve gerçekleşmiş olanı seçer. (...) Dolayısıyla "olasılıktan" "olguya" geçiş gözlem sırasında gerçekleşir."⁴⁰

Heisenberg'in objektif dediği alan, matematiksel bir ifade ya da gözlemlenmemiş bölgedeki potansiyel durumdur. Gözlemci devreye girince nesnellik kaybolur. Burada "olasılıktan olguya" geçişin, olayının gözlemcinin zihnine bağlı olmadığını, nesnenin ölçüm cihazıyla etkileşime girmesiyle ilgili olduğunu belirtir. Ona göre, eğer bir ifadenin içeriğinin doğrulanabileceği koşullara bağlı olmadığını iddia edersek, o ifadeyi "nesnelleştirmiş" oluruz. O, bunu dogmatik realizm olarak tanımlar ve dogmatik realizmde maddi dünyaya ilişkin nesnelleştirilmemiş hiçbir ifade bulunmadığını belirtir.⁴¹ Burada özne-nesne ayrımı ve nesnellik vardır. O, pratik realizmi ise, sadece gündelik deneyimlerimizin çoğunu nesnel kabul ederek dogmatik realizmden ayırır. Ona göre, pratik realizm bundan sonra da iş başında olacaktır; çünkü sadece gözlemlenebilenle uğraşır ve gözlemlenemeyenler hakkında bir şey söylemez. Heisenberg, Einstein'ın dogmatik realizmi savunarak kuantum teorisini eleştirmiş olduğunu belirtir. Heisenberg'e göre, dogmatik realizm klasik fizikle beraber görevini tamamlamıştır. Kuantum teorisıyla birlikte gerçeklik kavramında da ciddi bir değişim olmuştur.⁴² Artık, olasılık fonksiyonu ile tanımlanan durum, iki gözlem arasında olup bitenin tasvirine izin vermez. Nitekim o, şöyle der:

"Bizim onları gözlemleyip gözlemediğimizden bağımsız olarak, en küçük parçalarının taşlar veya ağaçlarla aynı anlamda nesnel olarak var olduğu bir gerçek dünya fikrine geri dönmemiz imkansızdır."⁴³

Kopenhag Yorumuna İtirazlar:

Şurası açıktır ki, belirsizlik ilkesinin de ortaya atılmasıyla kuantum teorisinde Kopenhagcılarının düşüncesi ağırlık kazanmış ve yapılan deneyler de kuantum teorisinin işlediğini göstermiştir. Bu yüzden Einstein'ın kuantum teorisinin hatalı ya da en azından tamamlanmamış olduğuna ilişkin düşüncesi gittikçe hatalı görülmeye başlanmıştır. Einstein ile Bohr arasında konferanslarda yaşanan ünlü tartışmalarda, Bohr, Einstein'ın eleştirilerini ve sorularını tatmin edici şekilde cevaplamayı başarmıştır. Einstein da bir süre

⁴⁰ Heisenberg, *Fizik ve Felsefe* 40-41

⁴¹ Heisenberg, *Fizik ve Felsefe*, 60

⁴² Heisenberg, *Fizik ve Felsefe*, 24

⁴³ Heisenberg, *Physics and philosophy*, New York: Penguin Science, 1962, 117.

sonra kuantum teorisinin başarılarını ve tutarlılığını kabul etmiş, ancak onun hala tamamlanmadığını ve temelde nedensellikten ayrı düşmeyeceğine olan inancını korumuştur. Einstein'ın kuantum teorisine son ciddi eleştirisi, bir düşünce deneyiyle yapılmıştır; ancak o zamanlar sınanamamıştır. Bu deneye geçmeden önce nedensellik ile ilgili Schrödinger'in düşüncelerine kısaca değinmek gerekir.

Schrödinger, kuantum fiziğinin klasik fizikten bir kopuşu simgelediğinin farkındadır. Felsefi pozitivizm olarak gördüğü Kopenhag yorumunda hak verdiği noktalar da vardır. Bu düşünceyi tutarlı görür, hatta solipsizme benzetir. Doğanın anlaşılır oluşuyla çelişse de bu yorum, bilimi animizmin en tehlikeli kalıntısı olarak gördüğü nedensellikten ve dolayısıyla güç mefhumundan kurtarmaktadır.⁴⁴ O da Heisenberg gibi geleneksel "materyalist" düşüncenin artık terk edilmesi gerektiğini düşünmektedir.⁴⁵ Ona göre, atomdan yayılan ışık, atomun varlığı için ve biz bakmazken bir yerlerde dolanıyor olduğunu düşünmemiz için gerçeğe uygun bir tablodur; ancak yine de doğru ya da yanlış olmaya elverişli değildir. Çünkü bu konuda makul beklentiler yaratacak uygun birkaç tasvirde daha fazlasını bekleyemeyiz. O, bu yüzden, "eskiden gerçekliğin bir resmini yapabileceğimizi umardık; ancak artık bu bir hayal oldu" der⁴⁶ ve sözünü şöyle sürdürür:

"Zihinsel gözümüz daha küçük mesafeleri ve daha kısa anları görür hale gelirken, doğanın etrafımızı kuşatan somut ve görülebilir cisimlerde gözlemlediğimizden bütünüyle farklı davrandığını, büyük ölçekli nesnelere dair deneyimlerimizden hareketle ortaya koyulan hiçbir modelin 'doğru' olamayacağını görmekteyiz. Yeterince açıklayıcı olacak bu türden bir model, pratik anlamda erişilemez olmasının yanı sıra, aynı zamanda düşünülemezdir de. Ya da kesin konuşmak gerekirse, elbette düşünebiliriz, fakat yine de yanlıştır. Belki 'üçgen bir çember' kadar değil, fakat 'kanatlı aslandan' çok daha anlamsızdır."⁴⁷

Ancak yine de Schrodinger'e göre, gerçekliğe yaklaşamayacak olsak dahi doğanın temelleri hakkında elde ettiğimiz bilgileri kullanarak ilerlemeye çalışmalıyız. Bununla beraber Schrödinger için de nedenselliği ortadan kaldıracak en önemli sorun, süreksizlik sorunudur. Çünkü ona göre, süreksizlik, açıkça nedenselliğin çökmesi anlamına gelmektedir.⁴⁸ Bu yüzden süreksizlikten kaçınmanın yollarını aramaktadır. Bu yolda kullandığı "acil çıkış" noktası, dalga mekaniğidir. Eddington'un, bunun için "fizik teorisi değil bir kaçamak yol, üstelik

⁴⁴ Schrödinger, *Doğa ve Yunanlılar*, 108

⁴⁵ Schrödinger, *Doğa ve Yunanlılar*, 136

⁴⁶ Schrödinger, *Doğa ve Yunanlılar*, 146-147

⁴⁷ Schrödinger, *Doğa ve Yunanlılar*, 148

⁴⁸ Schrödinger, *Doğa ve Yunanlılar*, 150

çok da iyi bir kaçamak yol" dediğini aktarır.⁴⁹ Schrödinger'e göre süreksizlik bulanıklık oluşturur ve bundan ne pahasına olursa olsun kaçınmak gerekir. Süreksizlikten kaçınmak için benimsediği yöntem; uzay ve zamanda sürekli, hiçbir boşluk bırakmayan, klasik dönemdeki amaca da uydurulmuş bir tanım veren dalga mekaniğidir. Böylece nedensellik konusunda boşluk kalmayacaktır. Dalga mekaniği, klasiğin eksiksiz determinizm talebini de karşılayacaktır. Schrödinger, varoluş içinde belirlenmiş bir fiziksel evrende, bizim için belirsiz kalabilecek durumların olduğunu kabul etmeye hazırdır; ancak Kopenhag yorumu bunun ötesine geçmektedir ve nesnenin gözlemci öznenin bağımsız bir varoluşa sahip olmasını mümkün görmemektedir. Buna göre biz, Kant'ın *kendinde şey* dediği "*nesnenin bizim onu gözlemeleme etkinliğiyle değiştirilmemiş halini*" asla gözlemleyemeyiz.

Heisenberg, belirsizlik ilkesini süreksizlikle ilişkilendirse de nedensellik ile ilgili tartışmalar süreksizlik dışında belirsizlik ilkesi özelinde de devam etmiştir. Belirsizlik doğanın temelinde mi vardır yoksa bizim bilgi eksikliğimizden mi kaynaklanır? Nedenselliğe inanan bilim insanları, de Broglie'nin formülüne göre, belirsizliğin madde-radyasyon etkileşimlerinin istatistiksel doğasıyla ilgili olduğunu düşünürlerken diğerleri, bant genişliği ilişkileri nedeniyle belirsiz özelliklere sahip olanın gerçekten dalga paketleri olduğunu, bu nedenle belirsizliğin kuantum özelliklerinin gerçek ontolojik belirsizliği ile ilgili olduğunu düşünmüşlerdir.⁵⁰ Bohr'a göre, ölçüm aracıyla etkileşimi ihmal etmenin imkansızlığı, her gözlemin kontrol edilemeyen yeni bir öğeyi işe dahil ettiği anlamına gelir. Bir parçacığın konumsal koordinatlarının ölçümüne, yalnızca dinamik değişkenlerde sonlu bir değişiklik eşlik etmez. Aynı zamanda konumunun sabitlenmesi, dinamik davranışın nedensel açıklamasında tam bir kopuş anlamına gelirken, momentumunun belirlenmesi her zaman uzamsal yayılımın bilgisinde bir boşluk anlamına gelir. Bu nedenle mikroskop gibi bir aletin sınırlamaları epistemolojik olmaktan ötedir.⁵¹ Tanona'nın belirttiğine göre epistemolojik sorun, yalnızca bir nesne sisteminin bir özelliğinin gerçek değerini bilmememiz değil, daha çok nesne sistemine atfettiğimiz özellik ne olursa olsun, o sistemin araçla etkileşiminin yalnızca kısmi bir temsilidir. Belirsizlik, bu özellikleri bile belirleyebilmemizin sınırlı derecesiyle ilgilidir; çünkü yaptığımız herhangi bir analiz, tüm sistemin gerçek durumunun kasıtlı bir yanlış yorumlanmasına dayanır.⁵² Bunu açacak olursak; ölçmek istediğimiz şeyin madde özelliğini ölçmeyi amaçlıyorsak ölçülen şey madde olarak davranır, dalga özelliğini ölçmek istiyorsak ölçülen şey bu defa dalga olarak davranır. Bir özelliği ölçerken diğeri hakkında bilgi sahibi olamayız. Bohr'un kendisi, Como konferansında klasik ölçüm analizlerinin, belirsizlik ilişkileri için temel sağlayamayacağını açıkça belirtir:

⁴⁹ Schrödinger, *Doğa ve Yunanlılar*, 160

⁵⁰ Tanona, "Uncertainty in Bohr's response," 491

⁵¹ Tanona, "Uncertainty in Bohr's response," 501

⁵² Tanona, "Uncertainty in Bohr's response," 501

"Klasik teorilerde, herhangi bir başarılı gözlemin, sistemin ilk durumu hakkındaki bilgimizi geliştirdiği için, gelecekteki olayların sürekli artan doğrulukla tahmin edilmesine izin verdiği unutulmamalıdır. Kuantum teorisine göre, sadece ölçüm aracıyla etkileşimi ihmal etmenin imkansızlığı, her gözlemin kontrol edilemeyen yeni bir öğeyi dahil ettiği anlamına gelir."⁵³

Bohr, belirsizliğin nedensellik idealinin sonunu getirdiğini iddia ederek şöyle der:

"Nesne ile ölçüm araçları arasındaki etkileşim, nedensellik idealinden kesin olarak vazgeçme zorunluluğunu ima eder."⁵⁴

Bohr, açıkça kuantum fiziğindeki belirsizliğin, klasik fizikte bir mermi atarken ya da hava durumlarını ölçerken tüm değişkenlerin bilgisine sahip olamamaktan kaynaklan belirsizlikten farklı bir yapıda olduğunu söyler. Aslında "*konum*" ve "*momentum*" gibi kavramlar tam olarak elektron için geçerli değildir, bunlar yalnızca elektron ve mikroskobu değil potansiyel olarak çevresini de içeren tüm sistemin "*bireyselliğini*" görmezden gelen "*soyutlamalar*"dır.⁵⁵ Yine de bu özellikler (mecburen) elektrona atfedilir ancak bu özelliklerin bir sistemin bir kısmına atfedilmesi, aslında tüm sistemin gerçek özelliklerinin yanlış yorumlanmasına neden olur. Sonuç olarak Bohr, kuantum mekaniğinin "*istatistiksel doğasının*" "*olguların doğrudan bir sonucu*" olduğunu iddia eder.⁵⁶ Tanona; Bohr'un, Schrödinger'in gerçekçi madde dalgaları anlayışıyla ilgili sorunlar konusunda oldukça açık olduğunu ve genel olarak parçacıkları dalga paketleriyle değiştiremeyeceğimizi belirttiğini ifade eder. Bohr'un dalgaları gerçekçi bir şekilde ele almaya karşı yaptığı ana itirazlardan biri; dalgaların üç boyutlu fiziksel uzayda değil, çok boyutlu konfigürasyon uzayında var olmalarıdır, bu yüzden açıkça bu dalgaların doğası elektromanyetik dalgalardan tamamen farklıdır.⁵⁷ Böylece Bohr, Schrödinger denkleminin dalgalarını "*sembolik*" olarak değerlendirir ve Schrödinger'in dalga mekaniğinin "*kuantum postulası tarafından ifade edilen irrasyonel öğeden*" kaçınılabileceği fikrini reddeder.⁵⁸

⁵³ Niels Bohr, "The quantum postulate and the recent development of atomic theory", *Nature* 121: (1928): 584, Erişim Tarihi: Şubat 12, https://www.informationphilosopher.com/solutions/scientists/bohr/Como_Nature.pdf

⁵⁴ Niels Bohr, "Quantum mechanics and physical reality". *Nature* 136.3428 (1935): 65-65, <https://doi.org/10.1038/136065a0>

⁵⁵ Tanona, "Uncertainty in Bohr's response," 504

⁵⁶ Niels Bohr, "The causality problem in atomic physics", *New theories in physics*, Paris: International Institute of Intellectual Cooperation 17 (1939): 14-15, Erişim Tarihi: 12 Şubat, https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:17055948

⁵⁷ Bohr, "The quantum postulate," 586.

⁵⁸ Tanona, "Uncertainty in Bohr's response," 503

EPR ve Tartışmaların Derinleşmesi:

Yaşanan tüm bu tartışmalar, iki tarafın da (nedensellik karşıtları ve nedensellik yanlıları) diğerlerinin düşüncesine ikna olmadığına işaret etmektedir. Taraflar deneysel sonuçları da teorik sonuçları da birbirlerinden farklı şekilde yorumlamışlardır. Einstein, *mikro* dünyanın gerçekçi tanımına sahip bir teorinin eninde sonunda bulunacağını ve tüm sorunları ortadan kaldıracağını düşünmüştür.⁵⁹ Kuantum teorisinin eksik olduğunu göstermek için yaptığı son önemli çalışması Boris Podolsky ve Nathan Rosen⁶⁰ ile beraber yazdığı "*Fiziksel Gerçekliğin Kuantum Mekaniksel Tanımı Tam Olarak Düşünülebilir mi?*"⁶¹ isimli makalesidir. Bu makalede Einstein, kuantum teorisinin dolanıklık diye adlandırılan bir özelliğinden yararlanarak bir düşünce deneyi kurgular. Düşünce deneyi özetle şöyledir: Kuantum teorisine göre, birbiriyle dolanık durumda olan iki parçacığın spin durumları ya da konum durumları (veya bazı özellikleri) birbiriyle bağlantılıdır (korelasyonludur-örneğin birinde spin yukarıysa diğerinde spin aşağı olmalıdır gibi). Ayrıca kuantum teorisinin Kopenhag yorumu, ölçüm yapılmadan önce hiçbir parçacığın gerçek özelliklere sahip olamayacağını, gerçek özelliklerin ölçüm anında ortaya çıktığını öne sürer (Aristoteles'in 'potentia'sının fiil haline gelmesi gibi).⁶² Yine kuantum teorisinin önemli formüllerinden biri olan belirsizlik ilkesi de bir parçacığın konumunun ve momentumunun aynı anda yüksek kesinlikle belirlenemeyeceğini öne sürmektedir. Bu varsayımlardan yola çıkan Einstein ve arkadaşları, kuantum teorisinin eksiksiz olduğunu öne süren ekole karşı çok ciddi bir paradoks ortaya attılar. EPR'ye göre, eğer kuantum fiziği tam ise, birbiriyle korelasyonlu (bağlantılı, dolanık) olan parçacıklardan birincisi üzerinde bir ölçüm yapıldığında ikincisi hakkındaki bilgi onu hiç etkilemeden elde edilebilir, bu da belirsizlik ilkesine aykırıdır. Çünkü EPR'ye göre, hem ikinci parçacık rahatsız edilmeden onun hakkında bilgi sahibi olunacak hem de parçacıklar uzaktan birbirini etkileyemeyeceği (özel görecelilikle çeliştiği için) için her parçacığın ayrı ayrı gerçek özelliklere sahip olduğu gösterilecektir.⁶³ Böylece hem belirsizlik ilkesi geçersiz kılınacak hem de uzaktan etki olamayacağı için parçacıkların ayrı ve nesnel varlıkları

⁵⁹ Wiseman, HM, "From Einstein's Theorem to Bell's Theorem: a history of quantum nonlocality", *Contemporary Physics* 47.2 (2006):80, <https://doi.org/10.1080/00107510600581011>

⁶⁰ EPR, üç bilim adamının isimlerinin baş harflerinden meydana gelir.

⁶¹ Albert Einstein, Podolsky, Boris, Rosen, Nathan, "Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?", *Physical Review* 4 (1935): 777-780, Erişim Tarihi: 12 Şubat, <https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.47.777>

⁶² Ölçüm anından önceki durum tüm olasılıkları içeren bir olasılık fonksiyonuyla gösterilir ve bu duruma süperpozisyon denir. Schrödinger bu durumun makro dünyada ortaya çıkartacağı saçmalığını göstermek amacıyla ünlü "*kedi paradoksu*" düşünce deneyini ortaya atmıştır.

⁶³ Etkilese de yerel gizli değişkenlerle etkileyebilirdi.

onaylanacaktır. Einstein burada gizli değişkenler (yerel) adı verilen bir teoriden yola çıkarak, parçacıklar arasında ışıktan hızlı bir etkileşim olamayacağını öngörmüştür. Gizli değişkenler teorisi belirsizliğe ve nedensellik ihlaline açıklama olarak düşünülmüştür. Çünkü bu gizli değişkenler, belirsizlik nedeniyle saptanamayan veya ölçümden önce olmadığı düşünülen özelliklerin gerçekte var olduğunu ve bunların madde veya dalgayı nedensel olarak etkileyerek hareketlerini yönlendirdiğini varsayar. Wiseman'ın da belirttiği gibi, EPR durumunda, uzaktaki bir gözlemci S1 üzerindeki bir ölçümle S2'nin konumunu bulabilir. Yerellik gereği, böyle bir ölçüm hiçbir şekilde S2'yi rahatsız edemez. Böylece, EPR'nin tanımına göre, S2'nin konumunun fiziksel gerçekliğin bir unsuru olduğu sonucu çıkar. Aralarında etkileşim olamayacağı için biri diğerini etkileyemez, ikisi de ayrı ayrı gerçekliğe sahiptir. Birinden diğerinin bilgisi nedenselliğe dayalı olarak çıkartılabilir. Aynı argüman S2'nin momentumu için de geçerlidir. Ancak Kopenhag Kuantum Mekaniği (KM), S2'nin konumu ve momentumunun her ikisinin de belirlenemeyeceğini ve özellikle EPR durumu için bunların her birine keyfi olarak büyük bir belirsizlik yüklediğini söylemektedir.⁶⁴ Bu nedenle, EPR yazarları makalelerinde Kopenhag KM'nin eksik olduğu sonucuna varmışlardır.⁶⁵

Kopenhagcılar görelilik teorisinin doğruluğundan şüphe etmedikleri için uzaktan etkiye imkân vermemişler ve bu ihtimal üzerinde durmamışlardır ama belirsizlik için cevap vermişlerdir. Wiseman, EPR yazarları için, "*gerçekliğin hiçbir makul tanımının buna izin vermesi beklenemez*" diyerek bu yerelsizliği (uzaktan etkiyi) küçümserler ama mantıksal olarak dışlamazlar demektir. Onun belirttiğine göre EPR senaryosunun kendisi, dünyanın gerçekten yerel olmadığından ziyade Kopenhag yorumunun eksik olduğunu öne sürer.⁶⁶ Tek parçacıkla ilgili olarak, eğer biri kuantum mekaniğini 'gizli değişkenler' (GD'ler) ile tamamlarsa, EPR paradoksu ortadan kalkar. Bu durumda, GD'ler parçacıkların konumlarına ve momentumlarına karşılık gelmelidir. Böylece EPR senaryosunda, paradoksu deneysel olarak gerçekleştirmek için gereken tek şey, konum ve momentumun yerel ölçümlerinin sonuçları arasındaki korelasyonlardır.

Wiseman, uzun bir süre çoğu fizikçi tarafından Bohr'un EPR'ye verdiği yanıtın Kopenhag okulu tartışmasını kazandığı düşünülüyordu (ve muhtemelen hala düşünülüyor) demektir. Bu okuldan propagandacılar, Wiseman'a göre, Bohr'un sözde zaferini parlak terimlerle tasvir ettiler:

"Einstein'ın sorunu yeniden şekillendirildi ve çözümü öyle bir kesinlikle yeniden formüle edildi ki, eleştirmenlerin akıl

⁶⁴ Wiseman, "From Einstein's Theorem," 84

⁶⁵ Einstein ve ark. "Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?", 780

⁶⁶ Wiseman, "From Einstein's Theorem," 84

yürütmelerindeki zayıflık belirginleşti ve tüm argümanları, tüm sahte parlaklığına rağmen, paramparça oldu".⁶⁷

Ancak Wiseman'a göre, EPR mantıklı bir argüman sunarken Bohr'un yanıtı, destekçilerinin bile net bir anlam çıkarmakta zorlandıkları bir bataklıktır. Cevabının büyük bölümünde Bohr, EPR kurulumunu basitçe görmezden gelmiştir ve Einstein'ın saldırılarının sistemin aygıt tarafından bozulmasına neden olarak engellendiği KM tutarlılığı konusundaki eski tarz savunmasını yinelemiştir. Ancak yine Wiseman'a göre bu argümanlar artık geçersizdir; çünkü S1 için olan aparat S2'yi fiziksel olarak rahatsız edememektedir. Bohr sonunda EPR kurulumuna değindiğinde, görevinin yine KM'nin tutarlı olduğunu kanıtlamak olduğunu görmüştür, çünkü bu sefer tamamlayıcılık, S1'in konum ve momentum ölçümlerinin aynı anda yapılamamasını sağlamıştır. Bu doğru bir yaklaşım değildir; çünkü EPR, KM'nin tutarlılığını sorgulamamıştır, sorgulanan şey, teorinin tamlığı ve uzaktan etkisidir.⁶⁸

Aslında de Broglie, 1927'de önerdiği "*pilot dalga*" teorisiyle hem kuantum teorisinin nedensel bir yorumunun verilebileceğini göstermiş hem de gerçeklik sorununa çözüm getirmiştir; ancak bu teori de görelilik teorisini ihlal ettiği için Einstein tarafından ciddiye alınmamıştır. De Broglie'nin teorisinde, bir parçacığın yörüngesi, uzak ve etkileşimsiz olsa bile diğer parçacığın konumundan etkilenebilir. Einstein bunun farkındadır; çünkü kendisi de benzer bir fikrin peşindedir, ancak yerelliği ihlal ettiği (nonlocality) ortaya çıkınca bu fikri terk etmiştir.⁶⁹ Einstein yetmiş yaşına yaklaşırken, kısa bir bilimsel otobiyografi yazmış ve burada ilk kez EPR'den farklı olarak şunu belirtmiştir:

"İstatistiksel kuantum teorisinin eksik olduğu sonucundan, yalnızca S1 ölçümünün (telepatik olarak) S2'nin gerçek durumunu değiştirdiğini varsayarak veya uzamsal olarak birbirinden ayrılmış bağımsız gerçek durumları olduğu gibi reddederek kaçılabilir. Her iki alternatif de bana eşit derecede kabul edilemez görünüyor."⁷⁰

Burada Einstein, EPR makalesinden farklı olarak, uzaktan etki kabul edilirse, gerçeklik ve nedenselliğin korunduğu bir kuantum mekaniği düşüncesinin tutarlı olduğunu kabul etmiş gibidir. Ancak bu durumda görelilik teorisinin hatalı olacağını kabul etmek durumunda kalacağı için bu ihtimali yine elemiştir. Diğer seçenekte (özel göreliliğin doğru kabul edildiği ancak yerel gizli

⁶⁷ Wiseman, "From Einstein's Theorem," 86

⁶⁸ Wiseman, "From Einstein's Theorem," 86

⁶⁹ Belousek, Darrin W. "Einstein's 1927 unpublished hidden-variable theory: It's background, context and significance", *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 27.4 (1996): 453-454, [https://doi.org/10.1016/S1355-2198\(96\)00015-9](https://doi.org/10.1016/S1355-2198(96)00015-9)

⁷⁰ Wiseman, "From Einstein's Theorem," 87

değişkenlerin dolayısıyla nedenselliğin olmadığı kabul edildiği durumda) ise uzaktaki olayların gerçekliği reddedilecek ve her şeyin varlığı tek gözlemciye bağlı olacağı için solipsizme götürecektir. Bu yüzden, Einstein sadece yerel gizli değişkenler teorisinin doğru olabileceğini varsaymıştır. Yani ona göre hem yerel gizli değişkenler olmalıdır hem de özel görelilik doğrudur.

Schrödinger de EPR makalesini izleyen tartışmaya önemli katkılarda bulunmuştur. Kopenhag yorumunun yersizliğine, kendi tabiriyle 'dolaşık' durumlarla uğraşırken tekrar dikkat çekmiştir.⁷¹ Ayrıca, bir sistemdeki ölçümlerin uzaktaki bir sistemin durumunu doğrudan etkilediği EPR fenomeni için 'direksiyon' veya 'sürüş' terimini de icat etmiştir. Einstein, Kopenhag KM'nin eksik olduğunu düşünürken, Schrödinger, EPR korelasyonlarının deneysel olarak görülebileceğinden şüphe duymuştur.⁷² Son olarak Schrödinger, nedenselliği savunurken EPR makalesinin dışında kuantum ölçüm probleminin de altını çizmiştir. Bu problem, teoride, mikroskobik gerçeksizliğin *makroskopik* dünyaya bulaşmasını önleyecek hiçbir şeyin olmadığı gerçeğidir. Bu durumun saçmalığını göstermek için, Kopenhag KM'nin nasıl kötü tanımlanmış ve yetersiz olduğunu gösteren, kötü şöhretli Schrödinger'in kedi paradoksunu ortaya atmıştır.⁷³

Wiseman'ın belirttiğine göre, EPR ve Schrödinger'in argümanlarının, KM'yi tamamlamaya çalışan teorilere olan ilginin yenilenmesine yol açması beklenebilirdi; çünkü bu tür teoriler hem yerel olmama problemini hem de kuantum ölçüm problemini çözmeye olasılığını sunuyordu. Bununla birlikte, bu zamana kadar, herhangi bir "*gizli değişken*" teorisi üzerindeki Kopenhag yorumuna verilen destek popüler matematikçi John von Neumann'ın 1932'de yayınlanan GD'lerin imkansızlığına dair sözde kanıtla desteklenmiştir.⁷⁴ Kopenhag okulunun eleştirmenlerini susturmak için von Neumann'ın yetkisi kullanılmıştır. Daha sonra, von Neumann'ın ispatının teknik olarak doğru olsa bile eksik olduğu, GD'lerle ilgili bazı durumları kısıtlamakla birlikte tümünü imkânsız kılmadığı gösterilmiştir. 1952'de David Bohm, de Broglie'nin fikrini yeniden keşfederek kendi GD yorumunu yayınlamış⁷⁵ ve sonrasında çalışma arkadaşlarıyla bu teoriyi daha da geliştirmiştir. Bohm, kuantum ölçüm problemini çözmeye tutarlılığını ve Kopenhag yorumuna üstünlüğünü gösteren teorisinin kapsamlı bir açıklamasını sunmuştur. Ancak, Bohm'un GD teorisinin

⁷¹ Erwin Schrödinger, "The Present Situation in Quantum Mechanics: A Translation of Schrödinger's "Cat Paradox" Paper", İngilizceye çev. John D. Trimmer, *Proceedings of the American Philosophical Society* (1980): 323-338, Erişim Tarihi: 12 Şubat, <https://www.jstor.org/stable/986572>

⁷² E. Schrödinger, "Probability relations," 446-452

⁷³ E. Schrödinger, "The present situation," 323-338

⁷⁴ Wiseman, "From Einstein's Theorem," 87

⁷⁵ David Bohm, "A suggested interpretation of the quantum theory in terms of 'hidden' variables" (parts I and II) *Physics Review*, 85 (1952): 166-193, Erişim Tarihi: 12 Şubat, <https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.85.166>

von Neumann teoremindeki kusuru ortaya çıkaramadığı için çoğu fizikçi, Bohm'un teorisinin yanlış olduğunu varsaymıştır. Bohm sonradan şöyle demiştir:

“Broglie'nin (pilot dalga) fikirleri 1927 Solvay kongresinde onaylansaydı, kabul edilen yorum (nedensel yorum) haline gelebilirdi; o zaman, birileri mevcut yorumu (Kopenhag yorumu) önermek için gelseydi, sonuçta yeni deneysel sonuçlar vermediği için, onu ciddiye almanın bir anlamı olmayacağı söylenebilirdi. Başka bir deyişle, mevcut yorumun benimsenmesinin biraz tesadüfi bir olay olduğunu hissettim.”⁷⁶

Burada dikkat çekici olan şey, kuantumun nedensel yorumunun, nedenselliği dışlayan Kopenhag yorumuyla aynı sonuçları vermesine rağmen gereksiz görülmesidir. Broglie'nin yaşadığı ciddiye alınmama durumunun aynısı Bohm'un da başına gelmiştir. Nitekim ortodoks pozisyonun önde gelen savunucuları Bohm'un önerisine büyük tepki göstermişlerdir. Heisenberg parçacık yörüngelerini "*gereksiz*", "*ideolojik üst yapı*" olarak eleştirmiştir. Gereksizdir çünkü yorum ortodoks olanla aynı sonuçlara yol açmaktadır. Bohm'un, nedensel yorumun deneysel testine izin vererek, kuantum teorisinde bazı değişikliklerin yapılabileceğine ilişkin geçici önerisini "*bazen $2 \times 2 = 5$ eder şeklindeki tuhaf umuda benzer*" olarak değerlendirilmiştir.⁷⁷ Whittaker'a göre Pauli, çeyrek yüzyıl önce de Broglie'nin versiyonunda yaptığı gibi Bohm'un teorisini de sert bir şekilde eleştirmiştir ve fizikçilerin ezici çoğunluğu, çeşitli nedenlerle Bohm'u görmezden gelmiştir. Einstein, Max Born'a yazdığı bir mektupta "*Bohm'un (bu arada, 25 yıl önce de Broglie'nin yaptığı gibi) kuantum teorisini deterministik terimlerle yorumlayabildiğine inandığını duydunuz mu? Bu yol bana çok ucuz görünüyor*" ifadelerini kullanmıştır.⁷⁸ Whittaker, sadece Einstein'ın desteğinin bile önemli bir fark yaratabileceğini ileri sürerek "*yine de Einstein'ın bu noktada kendi yaklaşımından tamamen farklı yaklaşımların ilgiyi hak ettiğini kabul edecek kadar esnek olmamasını üzücü buluyorum*" demektedir.⁷⁹ Bohm'un Einstein'dan destek alamaması, şüphesiz bu yaklaşımla ilgilenebilecek ve nedensel yorumu güçlendirebilecek kişilerin de önünü kesmiş gibi görünmektedir. Einstein bu çözümün işe yarayacağını bilmesine rağmen (daha önce Broglie de önermiştir) yine de çözümün "*çok ucuz*" olduğunu düşünmüştür. Bohm'un teorisi, konfigürasyon uzayındaki dalga fonksiyonunu, Einstein'ın haklı olarak gördüğü, yerel olmayan davranışa yol açması gereken bir kılavuz dalga olarak kullanmıştır. Ancak Einstein hala yerelliği içerecek bir teori hayal ettiğinden dolayı bu çözümü kabul etmemiştir. Peter Holland,

⁷⁶ Andrew Whittaker, *Einstein, Bohr and the Quantum Dilemma*, Melbourne: Cambridge University Press, 1996, 254 (pdf)

⁷⁷ Whittaker, "Einstein, Bohr," 250-253

⁷⁸ Whittaker, "Einstein, Bohr," 252

⁷⁹ Whittaker, "Einstein, Bohr," 252

Einstein'ın tutumunun bir "*taktik hata*" olabileceğini, "*de Broglie ve Bohm'un ki gibi bazı modellerin, onun kusurları olarak algıladığı her ne ise, yorumun hüküm süren belirsizliğine karşı koymada sıfırdan daha iyi olduğunu*" ileri sürmüştür.⁸⁰ 1927'de de Broglie'yi reddeden Einstein bu kez de Bohm'u aynı gerekçeyle reddetmiştir.

Nedenselliğe Yeni Bir Yaklaşım:

Bu olayların ardından gerçekleşen en önemli gelişmelerden birisi, John Bell isimli bir teorik fizikçinin Einstein ve Bohm'un çalışmalarına ilgi göstermesiyle ortaya çıkmıştır. Onun ortaya koyduğu teoremin iki sonucu mümkündür, buna göre Einstein, istatistiksel KM tamamlandıysa, dünyanın yerel olmadığını ya da gerçekliğin benim konumumla sınırlı olduğunu göstermiştir. Bell, istatistiksel KM tamamlanmasa bile, bunun yerel gerçekçiliğe izin vermediğini kanıtlamıştır ve GD teorileri (ki doğaları gereği gerçekçidir) de yerel olmamalıdır. Yani, Von Neuman'ın olamaz dediği gizli değişkenler yerel gizli değişkenlerdir, yerel olmayan gizli değişkenler için böyle bir sorun yoktur. Böylece Wiseman iki seçenektan birini seçmekle karşı karşıya kaldığımızı belirtir:

(i) Yerellik, yani görelilik varsayımları doğrudur, (yerel gizli değişkenler yoktur ve uzak olaylar gerçek değildir).

(ii) Uzak olayların bağımsız gerçekliği vardır, (uzaktan etki vardır, görelilik hatalıdır).

Bell, (yerel GD teorilerini dışladığı için, geriye yerel olmayan GD ihtimali kalır) bir EPR-Bohm deneyinde, '(bir deneyci tarafından) bir taraftaki müdahaleyi diğer tarafta nedensel bir etki olarak göz ardı edemeyiz' sonucuna varmıştır.⁸¹ Bell, bir elektronun spinini tespit ettiğimizde diğerinin spinini de uzaktan etki (yerel olmayan, Einstein'cı olmayan nedensellik) ile belirliyorsak bu bir nedensel etki olarak kabul edilmelidir demek istemiştir. Bu sadece yakın olayların birbirini etkilediği bir nedensellik değildir. Eğer gerçekçi bir görüşe sahipsek, birbiriyle bağlantılı diğer parçacığı da gerçek kabul ederiz (bizden bağımsız) ve ona uzaktan etkide bulunarak nedenselliği gerçekleştiririz. Nedenselliği yadsımak için böyle bir mekansızlığı kabul etmenin tek alternatifi, bir deneycinin diğerinin deneyiminin bağımsız gerçekliğini reddetmesidir. Bu durumda, yerel olmayan gizli değişkenler yoktur, yani ışıktan hızlı etkileşim

⁸⁰ Peter Holland R. *The quantum theory of motion: an account of the de Broglie-Bohm causal interpretation of quantum mechanics*. Cambridge University press, 1995:24, Erişim Tarihi: 12 Şubat, https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=BsEfVBzToRMC&oi=fnd&pg=PR17&ots=21t94ip0He&sig=D8yiziRHYK3kWYTo0vCrH6xrWLI&redir_esc=y#v=onepage&q=tactical&f=false

⁸¹ Wiseman, "From Einstein's Theorem," 10

yoktur, diğer parçacık gerçek değildir ve ancak biz birinci parçacığa etki ettiğimizde ikincinin de bir gerçekliği olur (Kopenhag yorumu). Böyle bir durumda gerçeklik sadece bize bağımlı olacaktır. Bu ikinci seçenek ne kadar nahış olsa da göz ardı edilemez. Bell'e göre, bu durumda, 'solipsizm reddedilemez'.⁸² Bu durum, açıkçası ortada, matematiksel tutarlılık ve deneysel öngörme gücü anlamında birbirine eş güçte iki görüş olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte Bell'in makalesinin yayınlandığı derginin editörü bile, kuantum mekaniğinin uzaktan etkiye izin verebileceğini düşünmediği için Bell teoreminin Kopenhag yorumunu haklı çıkardığını sanmıştır. Wiseman, bu durumun başlangıçta yanlış anlaşıldığını, gizli değişken teorilerin sadece yerel olması gerektiği sanılarak bu sonuçların Bohm'u çürüttüğü düşünülüyor demektedir.⁸³ Ancak Bohm yerel olmayan gizli değişkenleri de kullanmıştı ve sonuçlar aslında yerel olmayan gizli değişkenleri dışlamıyordu. Tam tersine, aslında Bell teoremi, Bohm'u destekliyordu. Bell'in kendisi, "[KM'nin yerel olmayışını] göz ardı edilemeyecek kadar açık bir şekilde ortaya çıkarmak de Broglie - Bohm versiyonunun bir meziyetidir" demiştir.⁸⁴ Bu makale yerel saklı değişkenleri dışlarken, yerel olmayan saklı değişkenleri dışlamadığı için, sanılanın aksine nedenselliği ortadan kaldırmamıştır. Burada sadece Einstein'cı nedensellik dışlanmıştır. Çünkü, Einstein'ın ısrar ettiği göreliliğe bağlı olan nedensellik artık geçerli olamayacaktır. Bu durumda yerellik yani birbirine yakın olayların birbirini etkileyerek oluşturduğu neden-sonuç anlayışının yanında uzaktan etkiyle oluşan nedensellik de mümkün olacaktır ki Einstein bunu kabul etmek istememişti. Onun anlayışına göre, neden-sonuç ancak yakın mesafede ışık hızı sınırlarında birbirini etkileyen olgular için geçerli olmalıydı. Ancak burada ortaya çıkan sonuç, Newton fiziğinde dışlanmayan bir uzaktan etkinin mümkün olabileceğini göstermektedir. Bu durum aynı zamanda göreliliğin de sınırlanması anlamına gelmektedir. Einstein EPR ile Kopenhagcılar istemeyecekleri iki sonuçla karşı karşıya bırakmayı ummuşken, gelinen noktada kendisi tercih etmek istemeyeceği iki seçenekle karşı karşıya kalmıştır. Einstein bu iki seçeneği fark etmiş ancak ikisine de yanaşmamıştır. Whittaker'a göre, Bell bu durumun ardından isyan etmiş ve "*Pauli, Rosenfeld ve Heisenberg bile, Bohm'un versiyonunu 'metafizik' ve 'ideolojik' olarak damgalamaktan daha yıkıcı bir eleştiri üretmezlerken, pilot dalga resmi neden ders kitaplarında göz ardı ediliyor?*" diyerek tek geçerli yolun Kopenhag yorumu olduğu düşüncesini dayatmak, belirsizliğin, özneliliğin ve belirlenimsizliğin bize deneysel gerçekler tarafından değil, kasıtlı teorik seçim tarafından zorlandığını

⁸² John Bell Stewart ve ark. "Quantum mechanics for cosmologists", *John S Bell On The Foundations Of Quantum Mechanics* (2001):124, Erişim Tarihi: 12 Şubat, https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=pufUCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA99&dq=J.+S.+Bell,+%E2%80%98Quantum+Mechanics+for+Cosmologists&ots=ARatmjqOK7&sig=X1EwKCSFkHVtkxEjGIBBj-wkd_0&redir_esc=y#v=onepage&q=solipsizm&f=false

⁸³ Wiseman, "From Einstein's Theorem," 12

⁸⁴ Wiseman, "From Einstein's Theorem," 12

göstermemek için, bu teoriyi dikkate almadıklarını iddia etmiştir.⁸⁵ Whittaker, gerçekten de Bell'in bu iki makalesinin, kuantum teorisinin temelleriyle ilgili araştırmalara yönelik fikir iklimini önemli ölçüde değiştirdiğini ve kayıtsızlığın çoğunun Bell'in, von Neumann'ı yıkmasıyla ortadan kalktığını belirtmiştir. O, bu önemli çalışmasından dolayı Bell'i deneysel felsefenin kurucusu kabul eder.⁸⁶ Bell teoreminin sınanması, KM tahminlerini doğrulayan ve çığır açan 1981'de Aspect, Grangier ve Roger⁸⁷ tarafından gerçekleştirilen deneylerle mümkün olmuştur.⁸⁸ Dünyanın gerçek olduğu varsayılırsa, Bell deneyleri onun yerel olmadığını kanıtlamıştır. Böylece, kontrol edilemeyen⁸⁹ yerel olmama (yerelsizlik, mekansızlık-nonlocality), görelilik kuramının statüsünü azaltarak temelden fenomenolojik düzeyine indirger. Öte yandan, göreliliğin temel olduğu varsayılırsa, Bell deneyleri, gerçek dünyanın olmadığını⁹⁰ kanıtlamıştır.⁹¹ Genel olarak bakıldığında Bell deneylerinin sonuçlarının sadece iki olasılık bıraktığını söylemek olasıdır:

(i) Dünya yerel değildir- görelilik ilkelerini ihlal eden gerçek olaylar meydana gelir,

(ii) nesnel gerçeklik mevcut değildir- uzak olaylarla ilgili herhangi bir olgu söz konusu değildir.

Wiseman'ın belirttiğine göre bu sonuç, yalnızca *mikroskobik* parçacıkların veya alanların belirli özelliklere sahip olamayacağı anlamına gelmez, aynı zamanda *makroskopik* nesnelere, hatta diğer bilinçli gözlemcilerin bile şu anda gerçek olmadığı anlamına gelir.⁹² Bu yüzden Stapp, Bell'in teoremini "*bilimin en derin keşfi*" olarak adlandırmıştır.⁹³ Gerçekçi olan Norris'e göre de standart Kopenhag yorumunda, KM gerçekçilikle bağdaşmaz. Bu nedenle o, gerçekçilik desteklenecek ve alternatif yorumlar düşünülecekse,

⁸⁵ Whittaker, "Einstein, Bohr," 254

⁸⁶ Whittaker, "Einstein, Bohr," 260

⁸⁷ Alain Aspect, Grangier Phillippe and Gérard Roger, "Experimental tests of realistic local theories via Bell's theorem", *Physics Review Letter* 47 (1981): 460-463; *ibid.* 'Experimental realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm *Gedankenexperiment*: A new violation of Bell's inequalities", *Physics Review Letter*, 49 (1982): 91-94

⁸⁸ Bu deneylerden önce Clauser ve arkadaşları 1974 yılında benzer sonuçlar elde etmişlerdir ancak Alain Aspect deneyleri sonuçları açısından daha güvenilir kabul edildiğinden Bell teoremi ile ilgili genelde bu sonuçlara atıf yapılır.

⁸⁹ Wiseman: Bu deneylerde gösterilen yersizlik, ışıktan hızlı sinyalleşmeyi sağlamaz (ve tercih edilen bir referans çerçevesinin tanımlanmasına izin vermez). Bu nedenle, ışıktan hızlı sinyalleşmeyi mümkün kılacak (varsayımsal) kontrol edilebilir yerel olmama ile çelişmemek için kontrol edilemez yerel olmayanlık olarak adlandırılmıştır.

⁹⁰ Bell deneyleri, gerçek dünyanın yalnızca kişinin kendi geçmiş ışık konisi içinde var olduğunu kanıtlamıştır.

⁹¹ Adrian Kent, "Causal Quantum Theory and the Collapse Locality Loophole", *Physical Review A*, 72.1 (2005): 012107, <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.72.012107>

⁹² Wiseman, "From Einstein's Theorem," 13

⁹³ Wiseman, "From Einstein's Theorem," 13

"birçok dünyalar"⁹⁴ yorumu gibi daha uç yorumlar yerine Bohm'un gerçekçilikle uyumlu olduğunu öne sürdüğü teorisini önerir.⁹⁵ Filozof Karl Popper, Clauser'e yazdığı mektupta bu durum karşısında afalladığını söylemekten kendisini alamaz ve Norris'inkine benzer bir seçimde bulunmayı tercih eder:

"Hala Nesnellik+Yerelliğin savunulamaz olduğuna inanamıyorum(...) Bohr'un bunları farkına vardığı açıktır (Ancak Wigner de KM'nin tekbençiliği (solipsizm) dolaylı olarak gerektirdiği konusunda haklıysa, o zaman sizin ve Freedman'ın sarsıcı sonuçlarına rağmen KM yanlış olmalıdır. Olguculuğun (Mach) atomculuğu reddettiğini unutmayın.) Afallamak kelimesi içinde bulunduğum durumu tarif etmeye yetmez. Eğer olguculuk nesnel olarak doğruysa(...)Nesnelliği neden kabul etmeyelim?"⁹⁶

Philip Ball, bugün Bohr'un kuantum mekaniği görüşünün kısıtlı olduğunu ve mutlak anlamda doğru olmadığını kesinlikle biliyoruz demektedir.⁹⁷ John Gribbin de Kopenhag yorumunun resmi yorum olarak kabul edilmesini von Neumann'ın hatasına atfen tarihsel bir tesadüf olarak görür. Kopenhag yorumunun üç saç ayağından biri olarak gördüğü tamamlayıcılık anlayışının, tek bir fotonun hem dalga hem parçacık olarak davrandığını gösteren deneylerden dolayı artık kuşkuyla bakıldığını ifade eder.⁹⁸ Burada ortaya çıkan durum, birbirine eş güçte iki yorum bulunduğuudur. Hangisini seçmek gerektiği şu an için tamamen tercih meselesi gibi görünmektedir. Einstein yaşasaydı ve bu sonuçları görseydi, ya bunlar içerisinden göreliliği korumayı seçip nedensel ve gerçekçi bir evren anlayışını terk etmek zorunda kalacaktı ya da nedenselliği seçip (Tanrının zar atmadığı bir evren) kendi ortaya attığı göreliliği sınırlamak zorunda kalacaktı. Cushing, Bell teoreminin 1964'te değil de 1920'lerin sonlarında keşfedilmiş olsaydı ne olacağı hakkında spekülasyon yapar. O, Einstein kontrol edilemeyen türden yerel-olmamanın KM artık gerçekliğin kaçınılmaz bir sonucu olduğunu bilseydi, o zaman, görelilik kuramı için kendi varsayımları pahasına bile olsa gerçekliği yerelliğe tercih ederdi der.⁹⁹ Bu durumda, de Broglie'nin teorisine hiçbir itirazı olmazdı ve teorinin 1952'den itibaren Bohm tarafından tam olarak geliştirilmesi, neredeyse çeyrek yüzyıl önce gerçekleşmiş olabilirdi. Yani

⁹⁴ Nedensellik ile ilgili farklı yorumlar da olmasına rağmen burada sadece Einstein'ın iddiaları ve o iddiaların vardığı sonuçlar dikkate alındığı için diğer yorumlar ayrıca irdelenmemiştir.

⁹⁵ Ben-Menahem, "Book reviews / Studies in History,"590

⁹⁶ Fred Alan Wolf, *Kuantum Bilmecesi*, çev. Mihriban Doğan, İstanbul: Omega Yayınları, 2011, 263

⁹⁷ Philip Ball, *Tuhafi Aşma Zamanı*, çev. Nedim Çatlı, İstanbul: Kolektif Kitap: 2019, 88

⁹⁸ John, Gribbin, *Schrödingerin Yavru Kedileri*, çev. Nedim Çatlı, İstanbul: Metis Yayınları, 2008, 170-171

⁹⁹ James Cushing T. *Quantum mechanics: historical contingency and the Copenhagen hegemony*, University of Chicago Press, 1994:179, Erişim Tarihi: 12 Şubat, https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=kTewHaL8fvgC&oi=fnd&pg=PR11&ots=QMMws1NTwm&sig=wy_m6XcDOe9UXldNI9ELVmgvOnQ&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Einstein, kendi savunduğu nedensellik konusunda (yerel olmayan saklı değişkenleri merkeze alan) yanılmıştır, ancak doğayı nedensel olarak yorumlayacak bir kuramın hala var olabileceği bahsini henüz kaybetmemiştir. Bu sonuçları değerlendiren Stenger “*gerçek, yerel-olmayan saklı değişkenlerin yönettiği belirlenimci bir evrenin varlığı, büyük olasılıkla hiçbir zaman tamamen elenemeyecektir*” demektedir.¹⁰⁰ Kopenhag yorumunun savunucularından biri olan ve “*Dr. Quantum*” olarak tanınan Fred Alan Wolf da benzer şekilde, “*sürekliliğin süresizliğe açtığı savaş asla sona eremeyebilir*” demektedir.¹⁰¹ Ilya Prigogine ise belki ileride, kuantum mekaniğinin olasılıkçı niteliğinin korunduğu ama aynı zamanda Einstein’ın isteğine uygun olarak öznel yönlerin katılmadığı bir yorumda Einstein ve Bohr’un uzlaştırılabileceğini ummaktadır.¹⁰²

“Gecikmeli Seçim Kuantum Silgisi” Deneyleri ve Nedensellik:

Bell teoremi, bilim tarihinin en önemli buluşları arasında kabul edilirken kuantum teorisindeki sorunları (nedensellik, dalga fonksiyonunun çökmesi, süperpozisyonun gerçekliği, dalga fonksiyonunun gerçekliği vb.) açıklayabilmek için farklı birçok düşünce de ortaya atılmıştır. Bunlar içerisinde Kopenhag yorumunu destekleyenler olduğu gibi nedensel yorumu destekleyenler de vardır. Tartışma yaratan argümanlardan bir tanesi ilk kez John Archibald Wheeler’ın bahsettiği “*Gecikmeli Seçim Argümanı*”dır. Daha sonra Yoon Ho Kim ve arkadaşları tarafından önerilmiş olan “*Gecikmeli Seçim Kuantum Silgisi*” (Delayed-Choice Quantum Eraser) ile ilgili deneyler yapılmış ve bu deneylerde gözlemcinin yaptığı seçimlerin geçmişi değiştirdiği iddia edilmiştir. Bu teorinin deneylerle doğrulanmış olduğu ifade edilir ve hala da bu konuyla ilgili tartışmalar sürmektedir. Gecikmiş seçimde, nedensellik zamanda geriye doğru işlediğinden dolayı, Einstein’ın klasik nedensellik düşüncesine ters bir durum ortaya çıkmaktadır. Yani bizim şimdi yapacağımız seçimler geçmişi değiştirir. Bu durumun deneylerle doğrulandığını ileri süren birçok bilimsel makale ve sonuç rapor edilmiştir. Bu yorumdan rahatsız olan birçok bilim insanı, deneylerin sonuçlarının farklı yorumlanabileceğini iddia etmişlerdir. Hatta bazıları bu deney sonuçlarının yorumlanmasını yanılısama olarak görmüş ve bu konuda yeni çalışmalar ortaya koyarak durumu açıklığa kavuşturmaya çalışmışlardır. Çoğu fizikçiyi şaşkınlığa uğratan “*Gecikmeli Seçim Kuantum Silgisi*” (GSKS) deney sonuçları, bazılarınca nedenselliğin *makro* dünyadan tamamen elendiğine kanıt sayılmıştır. Aslında Einstein’cı nedensellik zaten EPR deneyleri ve Bell teoreminin ortaya koyduğu deneylerle

¹⁰⁰ Victor J. Stenger, *Bilinçsiz Kuantum*, çev. Murat Havzalıç, İstanbul: Ginko Kitap, 2019, 235

¹⁰¹ Wolf, *Kuantum Bilmecesi*, 159

¹⁰² Ilya Prigogine, *Kesinliklerin Sonu*, yay. yön. İbrahim Şener, İstanbul: İzdüşüm Yayınları, 2004, 170

yanlışlanırken, GSKS deneylerinin sonuçları da zamanda geriden ileriye doğru giden nedenselliğin çürüttüğüne kanıt sayılmıştır. Çünkü nedensellik düşüncesinde neden sonuçtan önce gelmektedir. Ama GSKS deneylerinde neden geçmişe sonuçtan sonra var olarak etki etmektedir. Bu açıkçası sonucun nedeni var ettiğini savlayan teleolojik bakışa destek çıkıyor gibi görünmektedir. Bu deney sonuçlarıyla ikna olmayan başka bilim insanları da yaptıkları deneylerde farklı sonuçlara ulaştıklarını iddia etmişlerdir. Etki faktörü oldukça yüksek bir dergide Zhi-Yuan Zhou¹⁰³ ve arkadaşları tarafından 2017'de yayımlanan deney sonuçları, fotonlar gibi bireysel kuantum varlıkların fiziksel gerçekliğinin doğrulandığını iddia ederler. Kuantum olayların evrimsel bir düzene göre işlediğini ve deterministik bir modele uyduğunu anlatan Zhi-Yuan Zhou ve arkadaşları, kuantum mekaniğinin gerçekçi yorumunun gecikmeli seçim gibi deneylerle reddedilmiş gibi görünse de aslında durumun öyle olmadığını ifade ederler.

Yine bir başka çalışmada Jai Paul¹⁰⁴, 'gecikmeli seçim kuantum silgisi' deneyinde, etkiden ya da sonuçtan önce gelen nedenin, gizemli bir şekilde geçmişte bir etki ya da sonuç yaratmak için 'zamanda geriye doğru gidiyor' gibi görünmesine rağmen, deneyin ayrıntılı bir tartışması ve yorumuyla, bunun böyle olmadığını gösterdiklerini belirtir. Sandro Faetti¹⁰⁵ de yaptığı çalışmada, dolanık sistemlerle yapılan gecikmeli seçim deneylerinin yorumlanmasının, neden ve sonuç arasındaki doğal zamansal düzenin tersine çevrildiği şeklindeki mantık dışı sonucu ima etmediğini söylemektedir. David Ellerman,¹⁰⁶ kuantum silgi deneylerinde geçmişe dönük nedenselliği yaygın bir yanlış olarak tanımlar ve ortada hiçbir gizemin olmadığını ifade eder. R. E. Kastner¹⁰⁷'e göre de 'kuantum silgi' deneyleri hiçbir bilgiyi silmediği gösterilmiştir. Ona göre, 'kuantum silgisi' ile gözlemlenen korelasyonların 'gecikmeli seçim kuantum silgisi' tamamen standart EPR korelasyonlarıyla açıklanır ve bu deneylerde elde

¹⁰³ https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095927317304358?casa_token=MV4kEAz1o30AAAAA:FlrCyMALc54N38gu1G1DLB4YbR4HMmi7zXu7gHzgaQFXOn-ihIB8L1vFm-QVihGwoJALDWkImw

¹⁰⁴ Jai Paul Dudeja, "Can we influence certain events that occurred in the past? Interpreting 'delayed choice quantum eraser' experiment," *International Journal of Research and Analytical Reviews* 6.2 (2019): 225-226. Erişim Tarihi: 26 Mart, http://www.ijrar.com/upload_issue/ijrar_issue_20543504.pdf

¹⁰⁵ Sandro Faetti, "Alternative analysis of the delayed-choice quantum eraser with two entangled particles," *arXiv preprint arXiv:1912.04101* (2019):6. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1912.04101>

¹⁰⁶ David Ellerman. "Why delayed choice experiments do not imply retrocausality," *Quantum Studies: Mathematics and Foundations* 2.2 (2015): 198. Erişim Tarihi: 26 Mart, <https://link.springer.com/article/10.1007/s40509-014-0026-2>

¹⁰⁷ R. E. Kastner, "The 'delayed choice quantum eraser' neither erases nor delays," *Foundations of Physics*, 49.7 (2019): 725. Erişim Tarihi: 26 Mart, <https://link.springer.com/article/10.1007/s10701-019-00278-8>

edilmesi gereken hiçbir "zamansal yerelsizlik" yoktur. Tabish Quresh¹⁰⁸ 2020 ve 2021 yıllarında yaptığı çalışmalarda, Viyana gecikmeli seçim kuantum silgisinin, gecikmeli modun deneyci için hiçbir seçenek bırakmadığı ve hangi yol bilgisinin her zaman silindiği gerçeğinin ilk deneysel gösterimini verdiklerini ifade eder. Ona göre bu sonuçlar, gecikmeli seçim kuantum silgisinin gizemini ortadan kaldırır ve herhangi bir geriye dönük nedensellik konuşmasını gereksiz hale getirir.

Kuantum silmeyi Einstein'ın yerelliğiyle uyumlu olacak şekilde açıklamaya çalışanlar da mevcuttur. Xiao-Song Maa¹⁰⁹ ve arkadaşlarına göre, sistem fotonunun kesinlikle bir dalga ya da kesinlikle bir parçacık gibi davrandığı bakış açısının, ışıktan daha hızlı iletişim gerektireceği ve özel görelilik kuramıyla çelişeceği için tamamen terk edilmesi gerekir. Bu durumda sonuçlar Einstein yerelliğiyle uyumlu olmalıdır. Gerard't Hooft¹¹⁰ ise kuantum teorisinin eksik olduğunu kabul eder ve geçmişe dönük seçim yerine süperdeterminizmi ileri sürer. Ona göre kişi ileride yapacağı seçimle geçmişini değiştirecekse bu durum bile önceden belirlenmiştir.

Değerlendirme ve Sonuç

Yukarıdaki çözümlerden de anlaşılacağı gibi, Einstein'ın nedensel yorumda ısrarcı olmasına rağmen, sadece yerel nedenselliği kabul etmesi, Schrödinger, de Broglie ve Bohm gibi fizikçilerin önerilerine sıcak bakmaması, aslında nedensel yorumların ciddiye alınmasını geciktirmiştir. Sonuçta Einstein'ın olması gerektiğini iddia ettiği nedensel yorum mümkün görünmese de kuantum teorisinin nedensel olmayan yorumu olduğu gibi, matematiksel olarak eşit tutarlılıkta ve aynı deneysel sonuçları öngören farklı nedensel yorumları da mevcuttur. Ancak, tartışmalar hala sürdüğü için, hangisinin doğanın doğru tasvirini verdiğinin şu an için kesinliğe kavuştuğunu söylemek oldukça zordur. "Gecikmeli Seçim Kuantum Silgisi" argümanında bile bilim insanları birbirine eş güçte ancak tamamen zıt yönde fikirleri savunabilmekte

¹⁰⁸ Tabish Qureshi, "The delayed-choice quantum eraser leaves no choice," *International Journal of Theoretical Physics* 60.8 (2021): 3085.

Tabish Qureshi, "Demystifying the delayed-choice quantum eraser," *European Journal of Physics* 41.5 (2020): 10-11. Erişim Tarihi: 26 Mart, <https://link.springer.com/article/10.1007/s10773-021-04906-w>, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6404/ab923e/meta>

¹⁰⁹ Xiao-Song Maa ve ark., "Quantum erasure with causally disconnected choice," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110.4(2013): 1221-1226. <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.1213201110>

¹¹⁰ Gerard't. Hooft "Free Will in the Theory of Everything". *Determinism and Free Will-New In Insights from Physics*, ed. F. Scardigli, 21-47. Switzerland: Springer Nature, 2019, 30.

ve kendileri lehine kanıtlar ortaya koyabilmektedirler. Bazı yorumculara göre, kuantum fiziğinin tarihine ve gelişimine baktığımızda, süreç üzerine etki eden sosyo-kültürel faktörlerin farklı işlemiş olması halinde, hâkim görüşün de farklı olabileceğini ileri sürmek mümkünmüş gibi görünmektedir. Ancak durum, Kopenhagcılar lehine gelişmiş, fizikçilerin büyük çoğunluğu, uzun süre Kopenhag yorumunu kuantum fiziğinin tek yorumu olarak görmüşler ve bundan başka bir ihtimalin olabileceği fikrini büyük ölçüde görmezden gelmişlerdir. Nitekim fizik ders kitaplarında bile Kopenhag yorumundan başka bir yorumun varolduğundan hiç söz edilmemiştir. Bu durumun ortaya çıkmasında, elbette kuantum mekaniğinin kurucularının sert tepkileri, kesin konuşmaları ve pek çok fizikçinin onların etrafında kümelenmesinin de etkisinin olduğu açıktır. Çoğunluğun ortaya çıkardığı uzlaşının karşısında, suçlamalara ve köklü eleştirilere maruz kalma korkusuyla farklı düşünenlerin seslerini çıkartmakta seslerini duyurmakta güçlük çektikleri bilinen bir şeydir. Bilim tarihinin de gösterdiği gibi, pekişmiş teorilere ve paradigmalara itiraz etmek her zaman zor olmuştur. Bazı fizikçiler, Kopenhagcılar hegemonyasına gönderme yaparak, Kopenhag yorumuna karşı kuşkuyla yaklaşanlara ve soru soranlara yer yer “*kapa çeneni ve hesapla*” tavrıyla muamele edildiğini ifade ederler. Buna rağmen, kuantum fiziğindeki olgular ve yorumlarına ilişkin tartışmalar tümüyle sonlanmamıştır. Sözelimi Nobel ödüllü fizikçi Gerard't Hooft gibi hala kuantum teorisinin tamamlanmamış ve yerel değişkenlerin var olduğu düşüncesini paylaşan fizikçiler olduğu gibi, yerel olmayan değişkenlerin varlığını kabul ederek problemin üstesinden gelmeye çalışan fizikçiler de vardır. Bu yüzden felsefi açıdan soğuk kanlı olmak, Planck'ın deyişiyle acele etmemek gerekmektedir.

Bilim tarihi, kanıtlandığı gerekçesiyle uzun süre egemen olan teorilerin ve yaklaşımların, belli bir zaman sonra gözden düşüp, tarihin tozlu sayfalarına girdiğinin, önemsenmeyen yaklaşımların daha sonra ön plana çıktığının örnekleriyle doludur. Öte yandan kuantum teorisi ve nedensellik ilişkisi bakımından tartışmaların büyük bölümünün *mikro* dünyayla ilgili olduğu unutulmamalıdır. *Makro* dünyada “*Gecikmeli Seçim Kuantum Silgisi*” gibi tartışmalı durumların dışında nedensellik ilgili ciddi bir tartışma yok gibidir. Kopenhagcılar bile nedensellik açısından *makro* düzeyde bir sorunun olmadığını dile getirmişler; istatistiksel olarak kuantum mekaniğinin *makro* dünyada nedenselliğe uygun olarak işlediğini düşünmüşlerdir.

KAYNAKÇA

- Aspect, Alain, Philippe Grangier, and Gérard Roger. "Experimental tests of realistic local theories via Bell's theorem", *Physics Review Letter* 47 (1981): 460-463; *ibid.* 'Experimental realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm *Gedankenexperiment*: A new violation of Bell's inequalities", *Physics Review Letter*, 49 (1982): 91-94
- Ball, Philip. *Tuhafı Aşma Zamanı*, çev. Nedim Çatlı, İstanbul: Kolektif Kitap: 2019
- Bell, John S., Isham, C., Penrose, R., Sciama, D. "Quantum mechanics for cosmologists", *John S Bell On The Foundations Of Quantum Mechanics* (2001): 99-125, Erişim Tarihi: 12 Şubat, https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=pufUCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA99&dq=J.+S.+Bell.+%E2%80%98Quantum+Mechanics+for+Cosmologists&ots=ARatmqj0K7&sig=X1EwKCSFkHVtkxEjGIBBj-wkd 0&redir_esc=y#v=onepage&q=solipsism&f=false
- Belousek, Darrin W. "Einstein's 1927 unpublished hidden-variable theory: It's background, context and significance", *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 27.4 (1996): 437-461, [https://doi.org/10.1016/S1355-2198\(96\)00015-9](https://doi.org/10.1016/S1355-2198(96)00015-9)
- Ben-Menahem, Yemima. "Quantum theory and the flight from realism", *Book reviews / Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 33 (2002): 587-591, doi: [10.1016/S1355-2198\(02\)00022-9](https://doi.org/10.1016/S1355-2198(02)00022-9)
- Bohm, David. *Causality and Change In Modern Physics*, London: Routledge & Kegan Paul, 1996.
- Bohm, David. "A suggested interpretation of the quantum theory in terms of 'hidden' variables" (parts I and II) *Physics Review*, 85 (1952): 166-193, Erişim Tarihi: 12 Şubat, <https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.85.166>
- Bohr, Niels. "Quantum mechanics and physical reality". *Nature* 136.3428 (1935): 65-65, <https://doi.org/10.1038/136065a0>
- Bohr, Niels. "The causality problem in atomic physics", *New theories in physics*, Paris: International Institute of Intellectual Cooperation 17 (1939): 11-30, Erişim Tarihi: 12 Şubat, https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:17055948
- Bohr, Niels. "The quantum postulate and the recent development of atomic theory", *Nature* 121: (1928): 584, Erişim Tarihi: Şubat 12, https://www.informationphilosopher.com/solutions/scientists/bohr/C_omo_Nature.pdf

KUANTUM TEORİSİ BAĞLAMINDA EINSTEIN'İN NEDENSELLİK DÜŞÜNCESİ VE ETKİLERİ

Mehmet Emin ŞEKER - Hasan AYDIN

Bohr, Niels. "The quantum postulate and the recent development of atomic theory", *Nature* 121: (1928): 584, Erişim Tarihi: Şubat 12, https://www.informationphilosopher.com/solutions/scientists/bohr/Como_Nature.pdf

Cevizci, Ahmet. *Felsefe Sözlüğü*, İstanbul: Paradigma Yayıncılık, 2010, 1146

Cushing, James T. *Quantum mechanics: historical contingency and the Copenhagen hegemony*. University of Chicago Press, 1994, Erişim Tarihi: 12 Şubat, https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=kTewHaL8fvgC&oi=fnd&pg=PR11&ots=QMMws1NTwm&sig=wy_m6XcDOe9UXldNI9ELVmgvOnQ&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Dick, Rainer. "Quantum jumps, superpositions, and the continuous evolution of quantum states", *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 57 (2017): 115-125, doi: <https://doi.org/10.1016/j.shpsb.2016.10.003>

Dudeja, Jai Paul, "Can we influence certain events that occurred in the past? Interpreting 'delayed choice quantum eraser' experiment," *International Journal of Research and Analytical Reviews* 6.2 (2019): 217-226. Erişim Tarihi: 26 Mart, http://www.ijrar.com/upload_issue/ijrar_issue_20543504.pdf

326

Einstein, Albert; Podolsky, Boris ve Nathan, Rosen. "Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?", *Physical Review* 4 (1935): 777-780, Erişim Tarihi: 12 Şubat, <https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.47.777>

Ellerman, David. "Why delayed choice experiments do not imply retrocausality," *Quantum Studies: Mathematics and Foundations* 2.2 (2015): 183-199. Erişim Tarihi: 26 Mart, <https://link.springer.com/article/10.1007/s40509-014-0026-2>

Faetti, Sandro. "Alternative analysis of the delayed-choice quantum eraser with two entangled particles," *arXiv preprint arXiv:1912.04101* (2019). <https://doi.org/10.48550/arXiv.1912.04101>

Gribbin, John. *Mikro-Nano Dünya ve Onu A'dan Z'ye Güden Kuantum Ansiklopedik Sözlük*, çev. Ömür Akyüz, İstanbul: Alfa Yayınları, 2021

Gribbin, John. *Schrödingerin Yavru Kedileri*, çev. Nedim Çatlı, İstanbul: Metis Yayınları, 2008

Heisenberg, Werner. *Fizik ve Felsefe*, çev. İshak Arslan, İstanbul: Küre Yayınları, 2020, 32

Heisenberg, Werner. *Parça ve Bütün*, çev. Ayşe Atalay, İstanbul: Düzlem Yayınları, 1990

- Heisenberg, Werner. *Physics and philosophy*, New York: Penguin Science, 1962
- Holland, Peter R. *The quantum theory of motion: an account of the de Broglie-Bohm causal interpretation of quantum mechanics*. Cambridge University press: 1995, Erişim Tarihi: 12 Şubat, https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=BsEfVBzToRMC&oi=fnd&pg=PR17&ots=21t94ip0He&sig=D8yiziRHYK3kWYTo0vCrH6xrWLI&redir_esc=y#v=onepage&q=tactical&f=false
- Hulswit, Menno. *From Cause to Causation. A Peircean Perspective*, Dordrecht, USA: Kluwer Publishers, 2002.
- Hooft, Gerard't. "Free Will in the Theory of Everything". *Determinism and Free Will- New In Insights from Physics*, ed. F. Scardigli, 21-47. Switzerland: Springer Nature, 2019.
- Kastner, R. E." The 'delayed choice quantum eraser'neither erases nor delays," *Foundations of Physics*, 49.7 (2019), 717-727. Erişim Tarihi: 26 Mart, <https://link.springer.com/article/10.1007/s10701-019-00278-8>
- Kent, Adrian. "Causal Quantum Theory and the Collapse Locality Loophole", *Physical Review A*, 72.1 (2005): 012107, <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.72.012107>
- Ma, Xiao-Song; Johannes Kofler, Angie Qarry, Nuray Tetik, Thomas Scheidl, Rupert Ursin , Sven Ramelow Thomas Herbst Lothar Ratschbacher, Alessandro Fedrizzi, Thomas Jennewein ve Anton Zeilinger. "Quantum erasure with causally disconnected choice," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110.4(2013): 1221-1226. <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.1213201110>
- Monnod, Emmanuel. "Einstein, Heisenberg, Kant: methodological distinction and conditions of possibilities", *Information and Organization* 14 (2004):105-121, doi: <https://doi.org/10.1016/j.infoandorg.2003.12.001>
- Nadler, Stevan. *Causation in Early Modern Philosophy (Cartesianism, Occasionalism, and Preestablished Harmony)*, USA: The Pennsylvania State University Press, 1993.
- Planck, Max. "Doğadaki Nedensellik", *Modern Doğa Anlayışı ve Kuantum Teorisine Giriş* içinde, çev. Yılmaz Öner, İstanbul: Spartaküs Yayınları, 1996.
- Planck, Max. "Nedensellik Yasası ve İrade Özgürlüğü", *Modern Doğa Anlayışı ve Kuantum Teorisine Giriş* içinde, çev. Yılmaz Öner, İstanbul: Spartaküs Yayınları, 1996.

KUANTUM TEORİSİ BAĞLAMINDA EINSTEIN'İN NEDENSELLİK DÜŞÜNCESİ VE ETKİLERİ

Mehmet Emin ŞEKER - Hasan AYDIN

Prigogine, Ilya. *Kesinliklerin Sonu*, yay. yön. İbrahim Şener, İstanbul: İzdüşüm Yayınları, 2004

Qureshi, Tabish. "The delayed-choice quantum eraser leaves no choice," *International Journal of Theoretical Physics* 60.8 (2021): 3076-3086. Erişim Tarihi: 26 Mart,

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10773-021-04906-w>,

Qureshi, Tabish. "Demystifying the delayed-choice quantum eraser." *European Journal of Physics* 41.5 (2020): 055403.

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6404/ab923e/meta>

Özlem, Doğan. *Mantık*, İstanbul: Anahtar Yayınları, 1994

Schopenhauer, Arthur. *Yeterli Temel İlkesinin Dörtlü Kökü*, çeviren: A. Onur Ateş, İstanbul: Doğubatu Yayınları, 2020

Schrödinger, Erwin. "The Present Situation in Quantum Mechanics: A Translation of Schrödinger's "Cat Paradox" Paper", İngilizceye çev. John D. Trimmer, *Proceedings of the American Philosophical Society* (1980): 323-338, Erişim Tarihi: 12 Şubat, <https://www.jstor.org/stable/986572>

Schrödinger, Erwin. *Doğa ve Yunanlılar&Bilim ve Hümanizm*, çev. Aynur Başpınar, İstanbul: Babil Kitap, 2020

328

Stenger, Vitor J. *Bilinçsiz Kuantum*, çev. Murat Havzalıç, İstanbul: Ginko Kitap, 2019.

Tanona, Scott. "Uncertainty in Bohr's response to the Heisenberg microscope", *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 35 (2004): 483-507, doi: <https://doi.org/10.1016/j.shpsb.2004.04.007>

Whittaker, Andrew. *Einstein, Bohr and the Quantum Dilemma*, Melbourne: Cambridge University Press, 1996, 254 (pdf)

Wiseman, HM. "From Einstein's Theorem to Bell's Theorem: a history of quantum nonlocality", *Contemporary Physics* 47.2 (2006):79-88, <https://doi.org/10.1080/00107510600581011>

Wolf, Fred Alan. *Kuantum Bilmecesi*, çev. Mihriban Doğan, İstanbul: Omega Yayınları, 2011

Zhi-YuanZhou^{ab}Zhi-HanZhu^{ac}Shi-LongLiu^{ab}Yin-HaiLi^{ab}ShuaiShi^{ab}Dong-ShengDing^{ab}Li-XiangChen^{ad}WeiGao^{ac}Guang-CanGuo^{ab}Bao-SenShi^{ab}. "Quantum twisted double-slits experiments: confirming wavefunctions' physical reality," *Science bulletin*, 2017, 62.17: 1185-1192.