

Heisenberg Belirsizlik İlkesindeki 'Belirsizlik'

Semra Uçar¹

ORCID: 0000-0002-9813-7640

Öz

Kuantum fiziğinin temel ilkelerinden biri olan 'belirsizlik ilkesi' Alman fizikçi Werner Heisenberg tarafından, 1927 tarihinde ortaya atılmıştır. Belirsizlik ilkesi, fiziksel anlamda elektron gibi bir atom altı taneciğinin bazı özelliklerinin aynı anda sonsuz hassaslıkla ölçülemeyeceğini belirtir. Aralarında belirsizlik ilişkisi olduğu bilinen çiftlerden biri momentum -konumdur. İlk-eye göre atom altı bir parçacığın konumu ne kadar az belirsiz ise momentumu o kadar fazla belirsiz olacaktır. Bu ilişkinin tam tersi de geçerlidir. Ölçümün yapıldığı sıra, sonucu değiştirmektedir. Heisenberg belirsizlik ilkesinin matematiksel yapısının ortaya koyduğu bu sonuca göre, evren ile ilgili bilebileceklerimizin bir sınırı vardır. Belirsizliklerin temel nedeninin dalga-parçacık ikiliği olduğu görüşünü kabul eden Heisenberg, durumun evrenin fizik yapısının bir özelliği olarak ortaya çıktığını ve sadece ölçümden kaynaklanmadığını ileri sürmüştür. Böyle bir sonucun şüphesiz felsefi yansımaları olmuştur. Günümüzde da belirsizlik ilkesinin ortaya çıkardığı evren tablosu, fizikçiler ve filozoflar tarafından hala tartışılan bir konudur. Bu çalışma, söz konusu felsefi yansımaları, ontolojik ve epistemolojik olarak değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Heisenberg Belirsizlik İlkesi, Kuantum Fiziği Felsefesi, Fizik Felsefesi, Fizik Tarihi, Bilim Felsefesi.

'Uncertainty' in Heisenberg Uncertainty Principle

Abstract

Uncertainty principle is one of the most fundamental principles of quantum physics which was introduced by German physicist Werner Heisenberg in 1927. The uncertainty principle states that some properties of a subatomic particle, such as an electron, cannot be measured simultaneously with infinite precision. One of the pairs known to have an uncertainty relationship between them is momentum - position. According to the principle, the less uncertain the position of a subatomic particle, the more its momentum will be uncertain. The opposite of this relationship is also valid. The order in which the measurement is made changes the result. According to this result revealed by the mathematical structure of Heisenberg uncertainty principle, there is a limit to what we can know about the universe. Heisenberg, who accepted the view that the fundamental reason of the uncertainties was wave-particle duality, argued that the situation arises as a characteristics of the physical structure of the universe and was not caused solely by measurement. Such a result has undoubtedly enormous philosophical reflections. The picture of the universe revealed by the uncertainty principle is still a matter of debate by physicists and philosophers. In the study, these philosophical reflections were evaluated ontologically and epistemologically.

Keywords: Heisenberg Uncertainty Principle, Philosophy of Quantum Physics, Philosophy of Physics, History of Physics, Philosophy of Science.

¹ Dr. Öğretim Üyesi, Sinop Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Sosyoloji Bölümü. semraucar@sinop.edu.tr

Giriş

Fizik biliminde modern fiziğin ortaya çıktığı dönemde yaşanan gelişmeler, klasik fizik kuramlarının evreni açıklama ve anlama bakımından sınırlarını gözler önüne sermiştir. Bu gelişmeler, bilimsel araştırmaların uzun süredir kabul edilen ilkelerinden birçoğunun geçerliğini de tartışma konusu yapmıştır. Tartışmaya konu olan yenilikler daha az özelleşen ancak daha bulanık hale gelen sorunlar olarak ortaya çıkmıştır. Sorunların bulanık olarak nitelenmesinin en büyük nedenlerinden birisi şüphesiz Heisenberg belirsizlik ilkesidir. Bu ilkeyi ortaya atan bilim insanı, ilkenin isminden de anlaşılacağı gibi Werner Heisenberg'tir. Heisenberg o dönemde çok tartışmalı olan kuantum süreçleri ile ilgili ilk ve tutarlı mekaniği 1925'te formüle etmiştir. 1924-1927 yılları arasında Kopenhag'da Bohr Enstitüsü'nde geçirdiği süre içinde Heisenberg, kendi kuantum mekaniği yorumunu oluşturmada, matris mekaniği ve belirsizlik ilkesi gibi en yaratıcı çalışmalarını yapmıştır. Bu çalışmalarıyla atom fiziğine yeni bir kimlik kazandıran Heisenberg, kuantum fiziğine yapmış olduğu katkılar nedeniyle 1932'de Nobel Fizik Ödülü'nü almıştır.²

Heisenberg, 1950 yılında Türkiye'ye de gelmiş, İstanbul ve Ankara Üniversitelerindeki konferans dizilerinde çekirdek ve kuantum fiziğindeki yeni gelişmeleri duyurarak bilim ve felsefenin ortak sorunlarını serimlemiştir.³ Kuantum mekaniğinin yorumları arasında, Einstein'ın gerçekçiliği, Bohr ve Heisenberg'in Kopenhag yorumları versiyonları, von Neuman'ın dalga fonksiyonlarının çökmesi varsayımı öne çıkanlar olarak sayılabilir.⁴ Von Neuman, kuantum fiziğinin farklı iki yorumunu temsil etmelerine rağmen, Schrödinger'in dalga mekaniği ile Heisenberg'in matris mekaniğinin eş değer olduğunu göstermiştir.⁵ Kopenhag yorumuna dahil olan belirsizlik ilkesi ile Heisenberg, kuantum fiziğinde, kuantum mekaniği döneminin başlamasını sağlamıştır. Bir başka ifade ile o dönemde fizikte yeni yer bulmaya başlayan atom devriminin içinde bir başka devrim yapmıştır. Heisenberg'in bu büyük katkısının 'devrim' niteliğinde sayılmasının nedeni, ilkesinin taşıdığı birçok sıra dışı özelliktedir. Bu özelliklerden üç tanesini felsefi yansımaları bakımından öne taşımak gerekmektedir. Özelliklerden biri, ilkenin gerektirdiği matematiksel yapıdır. Bu matematiksel yapı günümüzde 'matris cebiri' olarak bilinmektedir. Heisenberg, matris cebirini, ilk defa belirsizlik ilkesi yoluyla fizikle tanıştırmıştır. Heisenberg, kuantum kuramının matematiksel mekanizmasının öngörülerde engellenemez bir belirsizlik ve gözlem sırasında nesnede oluşan bir bozulmanın olduğunu görmüştür.⁶ İkinci özellik teorinin ortaya koyduğu sonuçla ilgilidir. O da içinde yaşadığımız evrenle ilgili bilebileceklerimizin bir sınırının olmasıdır. Bu sınırla bilebileceklerimizin olasılık dâhilinde olması, ilkenin kuantum mekaniğinin genel yapısı itibarıyla olasılık yasaları tarafından yönetilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle denetlenmesi için klasik mantık değil çok değerli mantık sistemlerini gerektirmesi, üçüncü özellik olarak sayılabilir. İlkenin öne çıkarılan bu özellikleri, şüphesiz gerek epistemolojik gerekse ontolojik yansımaları bakımından bilim felsefesinde de yeni bir döneme girildiğinin işaretleridir. Bu işaretleri değerlendirmek için birinci kısımda Heisenberg belirsizlik ilkesi ana hatlarıyla açıklanacaktır. İkinci kısımda ise belirsizlik ilkesinde kullanılan yeni matematik sistemi, 'bilebileceklerimizin bir sınırı olması iddiasını' araştırmak adına ele alınıp daha sonra ilkenin felsefi yönleri yorumlanmaya çalışılacaktır. Sonuç kısmında ise belirsizlik ilkesindeki 'belirsizlik', ilkenin öne çıkarılan özellikleri ve bunların felsefi yorumları çerçevesinde tartışılacaktır.

² Bkz., James T. Cushing, *Fizikte Felsefi Kavramlar*, çev. Özgür Sarioğlu (İstanbul: Sabancı Üni. Yayınları, 2006), 153.

³ Nejat Bozkurt, *20. Yüzyıl Düşünce Akımları* (İstanbul: Sarmal Yayınevi, 1998), 328.

⁴ Bkz., Bas C. van Fraassen, *Quantum Mechanics: An Empiricist View* (Oxford: Clarendon Press, 1991), 241.

⁵ Bkz., Frederick Suppe, "The Search for Philosophic Understanding of Scientific Theories", in *The Structure of Scientific Theories*, ed. Suppe (Urbana: III, University of Illinois Press, 1974), 222.

⁶ Hans Reichenbach, *Kuantum Mekaniğinin Felsefi Temelleri*, çev. Deniz Ölçek (İstanbul: Alfa Yayınları, 2014), 9.

1. Heisenberg Belirsizlik İlkesi Nedir?

Heisenberg 1927'de kuantum mekaniğinin öngörülerine göre, ψ dalga fonksiyonu tarafından temsil edilen bir parçacıklar grubunun üyeleri için 'konum ve momentum'⁷, 'enerji ve zaman' gibi belirli değişken çiftlerinin ikisinin birden 'eş zamanlı olarak' yüksek ve rastgele bir kesinlik derecesinde belirlenemeyeceği yönünde bir matematiksel tez öne sürmüştür.⁸ Atom altı ölçekte bu durumu açıklayan ilkeye 'Heisenberg belirsizlik ilkesi' denmektedir.

Heisenberg'in ortaya koyduğu bu matematiksel tezin fiziksel açıklaması şöyledir: Bir atom parçacığının konumu ve hızı bir arada, istenildiği zaman ve kesinlikle gösterilmesi mümkün değildir. Konum tam olarak ölçülebilir ama o zaman da gözlem araçlarının araya karışması, hızın ölçülmesini, bir dereceye kadar önler. Önce hız ölçülürse o zaman da konum kesinlikle öğrenilemez olur. Planck sabiti⁹, bu iki belirsizlikten çıkan sonuç için bir alt sınır meydana getirmiştir.¹⁰ Bir başka ifadeyle, hareket etmekte olan bir elektronun konumu tam olarak belirlenmek istendiğinde üzerine belli bir dalga boyunda ışık düşürülmesi gerekmektedir. Ancak elektronun üzerine düşen ışık ışınları, boyutları nedeniyle elektronu hareket ettirir. Bu nedenle elektronun hızı kontrol edilemeyecek bir şekilde değişir. Bu bakımından elektronun konumu ne kadar kesin belirlenmek istenirse, daha kısa dalga boylu ışık ışınları kullanılması gerekmektedir. Ancak kısa dalga boylu ışının enerjisi çok yüksektir ve bu ışık ışını elektronun gerçek hızından daha büyük bir hız kazanmasına neden olacak şekilde parçacığı hareket ettirir.¹¹ Böylelikle elektronun o anki gerçek hızını saptama olanağı ortadan kalkmaktadır. Dolayısıyla bu durum "elektronun konumunun ve hızının aynı anda belirlenemeyeceği yönündeki belirsizliği ortaya koymaktadır."¹² Bu açıklamalar, Heisenberg'e göre Newton mekaniğine bağlı kavramların artık bizi niçin daha uzağa götürmediğini göstermektedir çünkü mekanik bir süreci hesaplamak için, bir parçacığın belli bir andaki konumunu ve hızını aynı zamanda bilmek gerekmektedir. Ancak kuantum kuramı böyle bir şey olamayacağını ortaya koymuştur.¹³ Bu koşullar altında atom altı taneciklerin geleceğini kesin olarak tahmin etmek veya belirlemek imkânsızdır. Planck'a göre Heisenberg belirsizlik ilkesinin orta boyuttaki fizik nesnelere çok az ilgisi vardır. Belirsizlik ilkesindeki "belirsizlik", önce elektronun yerini saptayıp sonra hızını bulmamız, önce elektronun hızını belirleyip sonra konumunu saptadığımız duruma göre farklı bir sonuç vermesinden kaynaklanmaktadır.¹⁴ İlkedeki "belirsizlik" kelimesi "bir kuramın doğruluğuna dair belirsizlik" anlamına gelmemektedir. Bu ilke, fiziksel bir sistemi tarif ederken "parçacıklar" gibi klasik Newtoncu kavramlar kullanıldığında zorunlu olarak duruma dahil olan bulanıklığa işaret etmektedir.¹⁵ Matematiksel yapı başlığında bu durum ayrıntılı olarak incelenecektir.

⁷ Momentum, fizikte korunumu olan türetilmiş büyüklüklerden biridir. 'P' ile gösterilir. Vektörel bir büyüklüktür. $P=m.v$ formülü ile ifade edilir. Bir cismin momentumunu hesaplamak için cismin kütlesi ile o anki hızını çarpmamız gerekir. Kütle ne kadar büyükse, kuvvetin etkisi altında nesnenin hızının değişmesi o denli zordur. Kütleyle belli bir zaman aralığında etki eden ortalama kuvvetin (İtmenin), zaman aralığının büyüklüğü ile çarpılması, söz konusu zaman aralığındaki momentum değişimini verir.

⁸ Bkz., Cushing, *Fizikte Felsefi Kavramlar*, 174.

⁹ Planck Sabiti, enerji ve frekans arasındaki ilişkiyi veren orantı sabitidir. 'h' ile gösterilir ve değeri J.s'dir.

¹⁰ Bkz., Werner Heisenberg, *The Physical Principles of Quantum Theory*, çev. C. Eckart and F. C. Hoyt (New York: Dover Publications, Inc., 1949), 20.

¹¹ Reichenbach, *Kuantum Mekaniğinin Felsefi Temelleri*, 38.

¹² Max Planck, *Modern Doğa Anlayışı ve Kuantum Teorisine Giriş*, çev. Yılmaz Öner (İstanbul: Spartaküs Yayınları, 1996), 173.

¹³ Bkz., Werner Heisenberg, *Çağdaş Fizikte Doğa*, çev. Vedat Günyol, Orhan Duru (Ankara: V Yayınları, 1987), 30.

¹⁴ Bkz., Planck, *Modern Doğa Anlayışı ve Kuantum Teorisine Giriş*, 224.

¹⁵ Philipp Frank, *Bilim Felsefesi*, çev. Dilek Kadioğlu (İstanbul: Say Yayınları, 2017), 324.

Heisenberg belirsizlik ilkesi aynı zamanda enerji ve zaman çiftine yönelik belirsizliği de ortaya koymaktadır. Bir başka ifadeyle zaman ile ilgili bilgimiz ne kadar kesin olursa, enerji ile ilgili bilgimiz o derece belirsizleşir. Bu durumda belirsizlik ilkesine göre zamanla ilgili bilgimiz arttıkça enerji ile ilgili bilgimiz azalmaktadır.¹⁶ Bu sonuçlar, ölçüm aletlerinin ve yöntemlerinin hassaslaşmasından bağımsız bir şekilde gözlemleyebildiklerimizin bir sınırının olduğunu göstermektedir. Belirsizlik, Hutten'e göre "dalga resminin uygulanamazlığının kanıtı olarak değil, elektronun temel bir özelliği olarak düşünülmelidir."¹⁷ Bu çarpıcı sonuç aslında Heisenberg belirsizlik ilkesinin matematiksel yapısından doğal olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle aşağıda ilkenin matematiksel yapısı ele alınacaktır.

2. Heisenberg Belirsizlik İlkesinin Genel Yapısı

2.1. Matematiksel Yapısı

Heisenberg, atom altı ölçekteki hareketi açıklamak için çağdaşları tarafından başlangıçta garip karşılanan yeni bir tür matematik kullanmıştır. Aşağıda ele alınacak olan 'matris cebiri' denilen bu matematiksel sistemin yardımıyla kuantum mekaniğinin matematiksel temelini oluşturmuştur.

Heisenberg, atom altı ölçekte durumlar arasındaki geçişler ile alakalı genlik ve frekans bilgilerini içeren satır ve sütunlardan oluşan tabloları nasıl değerlendirmemiz gerektiğini göstermiştir. Bunlara 'kuantum teorik büyüklükler' ismini veren Heisenberg, bu büyüklükleri 'kuantum mekaniksel bağıntılar' olarak ortaya attığı bir hesaplama yöntemi sayesinde birbirleri ile ilişkilendirmiştir. Söz konusu tabloları, bu hesaplama yöntemini kullanarak klasik mekaniktekine benzer formüller türetmeyi başarmıştır. Bu matematik yöntemi, kuantum olaylarını hesaplama ve öngörme yeteneğinin büyük ölçüde artmasına neden olmuştur.¹⁸

Bu matematik yönteminde klasik matematiğe göre farklı bir durum söz konusudur. Klasik matematikte çarpma işleminde 'değişme' özelliği vardır. Örneğin $3 \times 4 = 12$ ve $4 \times 3 = 12$ 'dir. Yani $3 \times 4 = 4 \times 3$ 'tür. Bir başka ifadeyle sayıların hangi sıra ile çarpıldığına bir önemi yoktur. Çarpıldığı sıra fark etmeksizin aynı sonucu verirler. Ancak bu kural Heisenberg'in hesaplama yönteminde geçerli değildir. Söz konusu atomlar olunca Heisenberg, beraber çarptığı değişkenlerin hangi sırayla yapıldığına bağlı olarak farklı sonuçlar verdiğini tespit etmiştir. Yani $A \times B$ ile $B \times A$ farklı sonuçlar vermiştir. Bir başka ifadeyle elektron belirli zamanda nerededir ve ne kadar hızlı hareket eder gibi kesin özelliklerin beraber çarpıldığı zamanki sıralaması sonucu değiştirmektedir. Yani bu çarpma işleminin değişme özelliği yoktur. Heisenberg'in bu tabloları, matematikçilerin 'matris' olarak isimlendirdiği matematik nesnelere ve geliştirdiği yeni hesaplama yöntemi ise matematikçilerin matrisleri çarpmak için kullandığı metottur. Yer değiştirme kuralı matrisler için geçerli değildir.¹⁹ Böylelikle Heisenberg, hocası Max Born²⁰ ile birlikte günümüzde Matris mekaniği denilen teoriyi ortaya koymuşlardır.²¹

¹⁶ Bkz., R. Crease ve A. S. Goldhaber, *Kuantum Dönemi*, çev. Vural Arı (İstanbul: İstanbul Bilgi Üniversitesi Yayınları, 2016), 144-145.

¹⁷ Ernest Hutten, *The Language of Modern Physics* (London: George Allen & Unwin Ltd., 1958), 180.

¹⁸ Bkz., Heisenberg, *The Physical Principles of Quantum Theory*, 55-65.

¹⁹ Bkz., Cushing, *Fizikte Felsefi Kavramlar*, 154.

²⁰ Max Born (1882 Wrocław - 1970 Göttingen), Alman Matematikçi ve Fizikçi.

²¹ Bkz., Max Jammer, *The Philosophy of Quantum Mechanics* (USA: John Wiley&Sons, Inc., 1974), 21.

Heisenberg'in yeni mekaniği o zamanlar çoğu fizikçinin alışkın olmadığı bu matematiksel özellik nedeniyle hemen kabul edilmemiştir. Ancak bu çalışma, atomların nasıl hareket ettiğini tarif etmeyi başaran dikkate değer teorik bir matematiksel gelişmeydi. "Heisenberg'in kuramının sürekli olmayan kesikli matematiği²², Kopenhag ekolünün temel olarak aldığı, doğanın sürekli olmayan, kesintili yani nedensel olmayan yapısını temsil etmek için çok uygundu."²³

Heisenberg belirsizlik ilkesinin gerektirdiği matematiksel yöntem şöyle tarif edilmektedir: Klasik mekanikte tanımlanan her niceliğe kuantum mekaniğinde bir işlemci karşılık gelir. Atom altı dünyada farklı gözlemlenebilirliklere karşılık gelen kuantum mekaniğin işlemcilerin (matrislerin) değişme özelliğine sahip olmaları gerekmez. Yani gözlemlerin yapılış sırası gerçekte gözlemlenen değerlerde farklılıklara yol açabilir. Değişme özelliğine sahip olmayan iki A ve B gözlenirine karşılık gelen işlemci için, bu değişkenlerin bir dizi ölçümünde ΔA ve ΔB 'nin eş zamanlı olarak ne kadar küçük olabileceği konusunda kuantum mekaniğinde genel bir sınırlama ya da bir alt sınır vardır.²⁴

Atom altı ölçekte konum ve momentum değişimlerinin ölçümlerine yönelik Heisenberg belirsizlik ilkesi:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{4\pi} \quad \text{ya da} \quad \Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

şeklinde ifade edilmektedir.²⁵

Atom altı ölçekte enerji ve zaman değişimlerinin ölçümlerine yönelik Heisenberg belirsizlik ilkesi:

$$\Delta t \cdot \Delta E \geq \frac{\hbar}{4\pi} \quad \text{ya da} \quad \Delta t \cdot \Delta E \geq \frac{\hbar}{2}$$

şeklinde ifade edilmektedir.²⁶ Söz konusu bu formül enerjinin çözünürlüğünü gözlemin meydana geldiği zaman süresine bağlamaktadır. Örnek olarak, eğer bir parçacık yalnızca çok kısa bir süre yaşarsa, bu durumda enerjisi (ya da kütlesi) büyük bir kesinlikle bilinemez.²⁷

Bu formüller belirsizlik ilkesinin matematiksel ifadeleridir. $E=mc^2$ ve Maxwell denklemleri dâhil olmak üzere pek çok denklem gibi ilk ortaya çıktığı formu bugünkü bilinen formu değildir. Günümüzde belirsizlik ilkesi, formül formunda gösterilir. Denklemin sağında yer alan ve $\frac{\hbar}{2\pi}$ ye karşılık gelen h-bar (\hbar) terimi, Dirac²⁸ tarafından ortaya atılmıştır ve pek çok uygulamada basitleştirme sağlamaktadır.²⁹ Matris mekaniği hiçbir fiziksel yorumu olmayan soyut bir matematiksel formalizm olarak Heisenberg tarafından açık bir

²² Erwin Schrödinger (1887 Viyana -1961 Viyana), Avusturyalı fizikçi, Heisenberg'in çalışmasının yayınlanmasından kısa bir süre sonra ve tamamen bağımsız bir biçimde, kuantum mekaniğinin sürekli matematik cinsinden, ama sonuç olarak denk bir formülasyonunu vermiştir. Buna dalga mekaniği denmiştir ve oldukça kabul görmüştür. Dalga denklemi şöyledir:

$$\left(-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V \right) \psi = i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t}$$

²³ Cushing, *Fizikte Felsefi Kavramlar*, 154.

²⁴ Bkz., Cushing, *Fizikte Felsefi Kavramlar*, 175.

²⁵ Bkz., Heisenberg, *The Physical Principles of Quantum Theory*, 18.

²⁶ Bkz., Heisenberg, *The Physical Principles of Quantum Theory*, 45.

²⁷ Bkz., Cushing, *Fizikte Felsefi Kavramlar*, 177.

²⁸ Paul Dirac (1902 Bristol - 1984 Tallahassee), İngiliz Fizikçi ve Matematikçi.

²⁹ Bkz., Crease ve Goldhaber, *Kuantum Dönemi*, 144.

şekilde ortaya çıkarılmış ve Kopenhag ekolünün diğer üyeleri³⁰ tarafından da geliştirilmiştir.³¹ “Bu keşif, dalga fonksiyonları yöntemine alternatif olan ve tam olarak ona eş değer olduğu gösterilebilen kuantum mekaniği problemlerini çözmek için bir yöntem ortaya koymuştur.”³²

2.1.2. Heisenberg Belirsizlik İlkesinin Yorumu

Belirsizlik ilkesi kuantum teorisindeki rastgeleliğin nedeni dâhil olmak üzere pek çok olayı açıklayabilmıştır. Olasılık dalgasının zaman içindeki değişiminde herhangi bir belirsizlik bulunmamaktadır. Bu dalganın yayılmasının nedeni, dalga paketinin ihtiva ettiği konum ve momentum arasındaki belirsizliktir. Bu nedenle momentumlar ve hızlar ile bir yayılma hareketi meydana gelmektedir. Ancak dalga paketinin kendisi halen tamamen tanımlıdır, herhangi bir belirsizlik içermeden zaman içinde yayılmaya devam ederler. Rastgelelik denilen durum, dalganın kendisinden dolayı değil, bir parçacığı tespit etmedeki olasılıkları tamamladığından dolayı ortaya çıkmaktadır. Bir başka ifadeyle belirsizliğin olması rastgeleliği ortaya çıkarmaktadır.³³ Popper'a³⁴ göre bunun anlamı karşılıklı nedensel bir etkileşimdir.³⁵

Belirsizlik ilkesi, mikro dünyaya ait bütün özelliklere uygulanmamaktadır. Örneğin kütle ve elektrik yükü, tanımlanabilmesinde belirsizlik olmayan kesin değerlere sahiptir. Belirsizlik, sadece yukarıda da işaret edildiği gibi (konum-momentum, enerji-zaman gibi) belli değişken çiftlerine uygulanır. Bu çiftlere, eşlenik (konjuge) değişkenler denir.³⁶ İlke genel olarak yalnızca bir gözlem yapıldığı zaman belirli bir sonucun elde edilme olasılığının hesaplanabilmesini olanaklı kılmaktadır. Buna ek olarak kuantum olaylarının fiziksel durumları hakkında bilebileceklerimiz ve öngörebileceklerimiz için zorunlu bir limit getirmiştir.

Planck'a göre atomsal olaylarda hangi tür yasaların geçerli olduğunu ölçümlerimiz sayesinde doğrudan gözlemleyebileceğimiz giderek zayıflamaktadır. Planck bunun en temel nedenini, cevaplanacak soruların giderek hassaslaşması ve her biri atomlardan oluşan ölçü aletlerimizin bu duyarlılıkla başa çıkamaması olarak göstermektedir. Duruma ilişkin örneği, “bir cismin içine sondaj yapmak, sondaj cismin kendisinden büyüğe olanaksızdır” şeklinde vermektedir.³⁷ Bu örnek belirsizlik ilkesi ile ilgili görselleştirmeyi mümkün kılan örneklerden biri olarak kabul edilir.

Heisenberg gözlemin kendisinin, olayda önemli bir rol oynadığını, hatta gerçeğin kendisinin, bizim onu gözlemleyip gözlemlememize bağlı olarak farklılaştığını ifade etmiştir.³⁸ Heisenberg şöyle devam eder:

“Doğa bilimlerinde kullanılan ‘kesin’ terimi, kapalı bir bütün meydana getiren ve matematik formüllerle anlatılan bir takım kavram ve yasa sistemlerinin her zaman var olduğu anlamına gelmektedir. Bazı deney alanları için geçerlidirler. Bu alanlar için evrensel bir gerçeklikleri vardır; ne değişmelere ne de gelişmelere elverişlidirler. Bu kavram ve yasaların bu nedenle yeni deney alanlarını temsil etmeleri umulamaz. Kuantum kuramının kavram

³⁰ Özellikle Bohr, Pauli, Dirac vd.

³¹ Bkz., Cushing, *Fizikte Felsefi Kavramlar*, 157.

³² Edmund Whittaker, *From Euclid to Eddington* (New York: Dover Publications, Inc., 1958), 164.

³³ Bkz., Crease ve Goldhaber, *Kuantum Dönemi*, 142.

³⁴ Bu konudaki daha kapsamlı bir araştırma için bkz., Semra Uçar, “Popper ve Heisenberg Belirsizlik İlkesi”, *Kaygı Uludağ Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Felsefe Dergisi* 19, 2 (2020): 528.

³⁵ Karl Popper, *Bilimsel Araştırmanın Mantığı*, çev. İlknur Aka, İbrahim Turan (İstanbul: Yapı Kredi Yayınları, 2019), 249.

³⁶ Bkz. Crease ve Goldhaber, *Kuantum Dönemi*, 145.

³⁷ Planck, *Modern Doğa Anlayışı ve Kuantum Teorisine Giriş*, 106.

³⁸ Werner Heisenberg, *Fizik ve Felsefe*, çev. Yılmaz Öner (İstanbul: Belge Yayınları, 2000), 29.

ve yasalarına da ancak bu sınırlı anlamda kesin diyebiliriz. Bu sınırlı anlamda bilimsel bilgi, bazen matematik diliyle ya da başka bir dille kesin olarak saptanabilir.”³⁹

Planck, Heisenberg’in bu açıklamalarını kuantum mekaniğinin bir elektronun belli bir andaki konumunu veremediğini, sadece elektronun belli bir yerde bulunması için olasılık verebildiğini ifade ederek desteklemiştir. Başka bir deyişle Planck, kuantum mekaniğinin kalabalık bir elektron yığını içinde, belli bir anda herhangi bir yerde bulunabilecek elektronların sayısını verdiğini söyleyerek, istatistiksel bir yasa olduğuna dikkat çekmiştir.⁴⁰ Ayrıca o, objektif bir sınırı yeni türden bir yasanın hegemonyasına alamet saymak gerektiğini ifade etmiştir.⁴¹ Konum ve momentum arasında var olan belirsizlik, atomların yapısındaki belirliliğe yol açmaktadır.

2.2. Felsefi Yapısı

Werner Heisenberg, bir fizikçi olarak fiziği felsefeden ayrı olarak düşünmemiştir. Onun fizikte ortaya atmış olduğu sıra dışı fikirler, fizikten çok daha önce tanıştığı felsefenin verdiği cesaret ve sorgulama neticesinde yeşermiştir. Heisenberg, Platon’un Timaios’u ile ilk defa lise yıllarında tanışmıştır. Yunan felsefesi, Heisenberg üzerinde derin bir etki bırakmıştır. Heisenberg’in ifadesiyle:

“Timaios’u okurken ilk defa Yunan atom felsefesini asıl kaynağından öğrenme fırsatını buldum. Yunan filozoflarının, maddenin sonsuz küçüklükte ve bölünemez parçacıklarını niçin düşündüklerini, hiç değilse biraz olsun anladığımı sanıyordum. Platon’un Timaios’da savunduğu görüş, yani atomların gerçek cisimler olduğu görüşü, bana pek açık gelmedi. Bununla birlikte, Yunan doğa felsefesini bilmeden, modern atom fiziği ile uğraşamayacağı inancı daha o günlerde kafama yer etti.”⁴²

Heisenberg’in atom ile ilgili bu görüşlerini matematiksel bir yapıyla bütünleştirmesi Holton’a göre, Platoncu gelenekle uyumlu tematik bir seçimdir.⁴³

Bozkurt’a göre “deneysel bulgularla doğrudan uyuşum içinde olan ve sezgiye deneysel temellere dayalı bir kuram ortaya koymaya özen gösteren Heisenberg, gençliğinde Ernst Mach’ın etkisi altında kalmış olmasına karşın, kuantum mekaniği üzerindeki felsefi yazılarında Viyana Çevresi’ne bağlı bilim felsefecilerinin geliştirmiş oldukları Mantıksal olguculuğa şiddetle karşı çıkmıştır.”⁴⁴ Benim fikrime göre Heisenberg’in klasik fizikten ziyade, felsefenin etkisinde kalması, atomlar hakkında daha derin ve cesur fikirler ortaya atmasının nedenleri olarak görülebilir. Fizik tarihinde daha önce benzeri olmayan Heisenberg belirsizlik ilkesi ile ilgili felsefi görünüm, oldukça iddialı tartışmaların ve anlaşmazlıkların öznesi olmuştur. Ancak gerçekte temel problem ise ilkenin öznesinin davranışı ile ilgilidir. Heisenberg belirsizlik ilkesi ile ilgili hararetli felsefi tartışmalar, gücünü atom altı dünya hakkında ne kadar şey bilebileceğimizin temel bir sınırı olduğu sonucundan almaktadır çünkü bu temel sınır, ya epistemolojik ya ontolojik ya da her ikisini birden içeren temel felsefi problemleri beraberinde getirmektedir. Söz konusu problemleri ele almak için ‘olgu’-‘gözlemci’-‘ölçüm’ kavramlarını ve birbirleri ile olan ilişkilerini değerlendirmek yerinde olacaktır.

³⁹ Heisenberg, *Çağdaş Fizikte Doğa*, 17-18.

⁴⁰ Max Planck, *The Philosophy of Physics* (New York: W. W. Norton & Company Inc., 1963), 23.

⁴¹ Bkz., Planck, *Modern Doğa Anlayışı ve Kuantum Teorisine Giriş*, 224.

⁴² Heisenberg, *Çağdaş Fizikte Doğa*, 48-49.

⁴³ Gerald Holton, *The Scientific Imagination: case Studies* (Cambridge: Cambridge University Press, 1978), 20.

⁴⁴ Bozkurt, 20. *Yüzyıl Düşünce Akımları*, 327.

Heisenberg belirsizlik ilkesindeki özne 'elektrondur'. Ölçümü yapılmak istenen büyüklükler, hareket halinde olan bir elektronun 'konumu' ve 'momentumudur'. Belirsizlik ilkesine göre hareket halinde olan bir elektronun hareketi ile ilgili ölçüm için, ölçümden önce elektronun konumu ve momentumu henüz tanımlı değildir.⁴⁵ Heisenberg'e göre kuantum düzeyinde artık ölçüm de başlı başına bir olgudur. Bu, doğanın kendi öğelerinin birbirlerine uyguladığı müdahale veya arıza anlamında bir olgudur.⁴⁶ Bridgman'a göre ise bir elektronun konumunu ve hızını ölçüp ölçmemeye karar vermekle elektronun bir konumunun ve hızının var olup olmayacağı belirlenmiş olmaktadır. Elektronun fiziksel özellikleri mutlak anlamda onun kendi doğal özünde var olan şeyler değil fakat gözlemciyi de işin içine dâhil eden özelliklerdir.⁴⁷ Yani ölçüm ve gözlemci birbirinden ayrılmamakta ve bu durum da elektron ile ilgili ontolojik yapıyı değiştirmektedir. Rovelli'ye göre Heisenberg, elektronların her zaman var olmadığını düşünmekteydi. Elektronlar yalnızca biri ona baktığında ya da daha doğru bir ifadeyle, başka bir şeyle etkileştiklerinde var olmaktadır. Elektronlar bir şeye çarptıklarında, hesaplanabilir bir olasılıkla, bir yerde maddeleşir ve tasvir edilebilir.⁴⁸ Kuantum mekaniğinde, bir başka cisimle çarpışmadığı sürece hiçbir cismin belirli bir konumu yoktur. Elektronun bir etkileşimden diğerine geçişi arasında tanımlanması gerçek uzayda değil, soyut matematiksel uzayda yer alan soyut bir formül kullanılarak yapılır. Her bir elektronun bir etkileşimden diğerine geçmesini sağlayan bu sıçramalar, öngörülebilir bir biçimde değil, büyük ölçüde rastlantısal biçimde gerçekleşir. Böylelikle bir elektronun nerede ortaya çıkacağını öngörmek mümkün değildir. Yalnızca elektronun konumu ile ilgili bir olasılık hesaplanabilir.⁴⁹ Bu nedenle Heisenberg belirsizlik ilkesindeki bu durum ontolojik bir gerçeklik değildir ve belirsizliğin sebebi ölçüm yapan aletlerin yeterince hassas olamamasından kaynaklanmaktadır. Söz konusu ölçüm aletleri, kendileri de elektronlardan oluşması sebebiyle hiçbir zaman yeterince hassas olamayacaktır. Böyle bir yaklaşımla da söz konusu 'belirsizliğin' epistemolojik olduğu yönünde bir yorum da yapılabilir.

Ancak belirsizlik ilkesindeki 'belirsizlik' sadece doğa hakkında ne bildiğimizle alakalı epistemolojik bir mesele değil gibi gözükmektedir. Bu durum aynı zamanda doğanın doğrudan kendisi ile alakalı ontolojik bir sorun olarak da yorumlanabilir. Sorun 'bilmemekten' değil, 'bilememekten' kaynaklanmaktadır. Bu yorumlardan da anlaşılacağı gibi Heisenberg belirsizlik ilkesi, maddenin sorgulanamayan temel özellikleri ile ilgili kabulleri, sorgulanır hale getirmiştir.⁵⁰ Bu konu ile ilgili Heisenberg'in yorumu şöyledir:

"Elektronlar ve atomlar, günlük deneyimlerimizdeki nesnelere olduğu gibi herhangi bir fiziksel gerçeklik derecesine sahip değildir. Elektronlar ve atomlar için en uygun olan fiziksel gerçekliğin araştırılması tam olarak kuantum mekaniğinin konusudur."⁵¹

Heisenberg'in bu görüşleri yeni epistemolojiye ihtiyaç duyduğumuzun göstergesi olarak yorumlanabilir. Belirsizlik ilkesindeki 'belirsizlik', ne teorideki bir kusur ne de ölçümlerde yapılan becerisizliktir. Atom altı ölçekte doğanın nasıl davrandığının temel bir gerçeğidir. Planck yapılan eleştiriler karşısında şunları ifade etmiştir:

⁴⁵ Bkz., Crease ve Goldhaber, *Kuantum Dönemi*, 135.

⁴⁶ Bkz., Heisenberg, *Fizik ve Felsefe*, V.

⁴⁷ Crease ve Goldhaber, *Kuantum Dönemi*, 130.

⁴⁸ Bkz., Rovelli, *Fizik Üzerine Yedi Kısa Ders*, 23- 24.

⁴⁹ Bkz., Rovelli, *Fizik Üzerine Yed Kısa Ders*, 23- 24.

⁵⁰ Bkz., Crease ve Goldhaber, *Kuantum Dönemi*, 111.

⁵¹ Bkz., Crease ve Goldhaber, *Kuantum Dönemi*, 110.

“Teorik fiziğe yapılan en büyük suçlamalar, onun soyut matematiksel biçimsele yöneldiği, gerçekliğin ayağının altından kayıp gittiğidir. Bu eleştiri kısırlaştırıcı olduğu kadar haksızdır da. Çünkü bir düşüncenin değeri, somut olmasıyla değil, başardığı işle ölçülür.”⁵²

Planck bu görüşleri ile bilimsel realizmden daha çok araçsalcılığa yakın gibi gözükmektedir. Bilimsel realizm, dünyada nesnelere insan eylemlerinden ayrı, insan düşüncesi ve algısından bağımsız bir gerçekliğin olduğunu ve bilimsel teorilerin ancak bu düşünceyi takip etmesi halinde doğru olarak kabul edilebileceğini savunur.⁵³ Einstein, bilimin bize sadece empirik olarak yeterli teoriler vermesi yerine, dünyanın nasıl olduğuna dair bir açıklama sağlaması gerektiğine şiddetle inanmıştır.⁵⁴ Bu nedenle Einstein bir bilimsel gerçekçidir. Öte yandan kuantum mekaniğinin kurucularından Bohr, Heisenberg ve bazı diğer bilim insanları ise fizik teorilerinin amacının yalnızca fenomeni tahmin etmenin bir yolunu sağlamak olduğunu savunmuşlardır.⁵⁵ Bu nedenle onlar araçsalcıdır. Bohr’la Einstein’ın bu konudaki yaptıkları büyük tartışma, 1927’de beşinci Solvay Kongresi’nde başlamış ve Einstein’ın 1955’te ölümüne kadar sürmüştür.⁵⁶ Bu tartışmaların başladığı dönemden kısa bir süre sonra kuantum mekaniğinin geliştirilebileceği ve tahminlerinde oldukça başarılı olduğu görülmüştür. Ancak bugün bile kuantum mekaniği yorumlarından herhangi birinin üzerinde tam olarak uzlaşmış olduğunu söylemek güçtür.

Sonuç

Kuantum mekaniği kendinden önceki fizik kuramlarına kıyasla yapısı, kuruluşu ve işleyişi bakımından oldukça sıra dışı özellikler taşımaktadır. Kuantum mekaniğinin yorumlanması felsefi bir konudur ve oldukça tartışmalıdır. Kuantum mekaniğindeki bu yorumlardan Heisenberg belirsizlik ilkesi ile ilgili olanı, kabullenmesi en zor, en derin ilkelerinden birisidir. Heisenberg ve çağdaşları olan Pauli, Dirac gibi yeni nesil kuantum fizikçilerinin ortaya atmış oldukları ilkelerde, gözlemlenemez varlıklardan kaçınma eğilimi olarak, empirist-işlemselci yaklaşımlar göze çarpmaktadır. Kuantum ikinci kuşak fizikçilerinin, özellikle Heisenberg’in, kuramlarına yönelik felsefi bakımdan dikkat çeken bu düşünsel eğilimler, ontoloji, epistemoloji ve özellikle nedensellik ile ilgili krizlerin baş göstermesine yol açmıştır.

Heisenberg, ortaya koymuş olduğu belirsizlik ilkesinde gözlemlerimizin sınırları bakımından, klasik fizikteki gibi bir nedenselliğin, neden atom altı ölçekte olanaksız olduğunu, nedenleriyle birlikte açıklamaya çalışmıştır. Gözlemlenen nesneyi etkilediğinden nedensellik olanaksızdır. Bu açıdan ele alınacak olursa ‘belirsizlik’ nesnelere doğrudan kendilerinde var olan bir gerçeklik olarak ortaya çıkmaktadır. Örneğin bir elektronun varlığı, kendini parçacık veya dalga şeklinde gösterebilmektedir ancak her ikisini aynı anda göstermemektedir. Bu felsefe açısından ciddi bir ontolojik problemdir. Gözlem sürecinden bağımsız bir şekilde parçacık davranışından bahsetmek mümkün gözükmemektedir. Kuantum teorisinde matematiksel olarak formüle edilmiş doğa yasaları, temel parçacıkların kendileri değil de, bizim onlar hakkındaki bilgilerimizle ilgili gibi gözükmektedir. Bu durum ise felsefe açısından ciddi bir epistemolojik problemdir. Bu sorun, Heisenberg belirsizlik ilkesine göre gözlemin kesinliğinin ya da bilebileceklerimizin doğal olarak var olan sınırının bulunmasıyla ilgilidir. Ortaya çıkan bu sonuç, belirsizlik ilkesindeki bir kusur ya da eksiklik değildir. Gözlemci

⁵² Planck, *Modern Doğa Anlayışı ve Kuantum Teorisine Giriş*, 106-107.

⁵³ Hans Reichenbach, *Bilimsel Felsefenin Doğuşu*, çev. Cemal Yıldırım (Ankara: Remzi Kitabevi, 1981), 225.

⁵⁴ Bkz., James Ladyman, *Understanding Philosophy of Science* (London: Routledge, 2002), 104.

⁵⁵ Bkz., Ladyman, *Understanding Philosophy of Science*, 104.

⁵⁶ John Gribbin, *Schrödinger’in Kedisinin Peşinde*, çev. Nedim Çatlı (İstanbul: Metis Yayınları, 2016), 185.

tarafından kullanılan tekniğin geliştirilmesi ya da teknolojik imkânların artmasıyla önüne geçilebileceği gibi olasılıklar söz konusu değildir. Söz konusu olan şey eğer kuantum mekaniği ise epistemoloji ve ontoloji arasındaki sınır kaybolmuş gibi gözükmektedir. Kuantum mekaniği için epistemolojik ve ontolojik bakımdan bir yeniden değerlendirmeye ihtiyaç vardır. Modern dünyayı şekillendiren ve farklı bir tür gerçekliğe sahip olan atom altı ölçekte, orta boyuta ait olan sezgilerimiz yetersiz kalmaktadır. Heisenberg belirsizlik ilkesi, fizik doğa ile ilgili bazı Newtoncu kabullerin doğru olmadığını göstermiştir. Bu formül, Newton mekaniğine bağlı kavramların artık bizi niçin daha uzağa götüremediğini göstermektedir çünkü mekanik bir süreci hesaplamak için bir parçacığın belli bir andaki konumunu ve hızını aynı zamanda bilmek gerekir ki kuantum kuramı böyle bir şey olamayacağını ortaya koymuştur. Kuantum mekaniğindeki hesaplamalar her ne kadar karmaşık gibi gözükse de cevaplar hala özgün ve anlaşılır formdadır. Newton'un teorisi, bu gibi karmaşık sistemler için yetersizdir. Bu nedenle Heisenberg'in çalışması kuantum mekaniğinin tutarlılığı ve bütünselliği hakkında ilk delilleri ortaya koymuştur. Aşağı yukarı bir asırdır, kuantum mekaniğinin doğruluğu çeşitli deneylerle kanıtlamış ve geçerliğinden şüphe duyulmamıştır.

Kaynakça

- Bozkurt, Nejat. *20. Yüzyıl Düşünce Akımları*. İstanbul: Sarmal Yayınevi, 1998.
- Cushing, James T. *Fizikte Felsefi Kavramlar*, çev. Özgür Sarioğlu. İstanbul: Sabancı Üniversitesi Yayınları, 2006.
- Frank, Philipp. *Bilim Felsefesi*, çev. Dilek Kadioğlu. İstanbul: Say Yayınları, 2017.
- Gribbin, John. *Schrödinger'in Kedisinin Peşinde*, çev. Nedim Çatlı. İstanbul: Metis Yayınları, 2016.
- Heisenberg, Werner. *Çağdaş Fizikte Doğa*, çev. Vedat Günyol, Orhan Duru. Ankara: V Yayınları, 1987.
- Heisenberg, Werner. *Fizik ve Felsefe*, çev. Yılmaz Öner. İstanbul: Belge Yayınları, 2000.
- Heisenberg, Werner. *The Physical Principles of Quantum Theory*, çev. C. Eckart and F. C. Hoyt. New York: Dover Publications, Inc., 1949.
- Holton, Gerald. *The Scientific Imagination: case Studies*. Cambridge: Cambridge University Press, 1978.
- Hutten, Ernest. *The Language of Modern Physics*. London: George Allen & Unwin Ltd., 1958.
- Jammer, Max. *The Philosophy of Quantum Mechanics*. USA: John Wiley&Sons, Inc., 1974.
- Ladyman, James. *Understanding Philosophy of Science*. London: Routledge, 2002.
- Planck, M. *Modern Doğa Anlayışı ve Kuantum Teorisine Giriş*, çev. Y. Öner. İstanbul: Spartaküs Yayınları, 1996.
- Planck, M. *The Philosophy of Physics*. New York: W. W. Norton & Company Inc., 1963.
- Popper, Karl. *Bilimsel Araştırmanın Mantığı*, çev. İlknur Aka, İbrahim Turan. İstanbul: Yapı Kredi Yayınları, 2019.
- Reichenbach, Hans. *Kuantum Mekaniğinin Felsefi Temelleri*, çev. Deniz Ölçek. İstanbul: Alfa Yayınları, 2014.
- Reichenbach, Hans. *Bilimsel Felsefenin Doğuşu*, çev. Cemal Yıldırım. Ankara: Remzi Kitabevi, 1981.
- Robert, C. ve A Goldhaber. *Kuantum Dönemi*, çev. Vural Arı. İstanbul: Bilgi Üniversitesi Yayınları, 2016.
- Rovelli, Carlo. *Fizik Üzerine Yedi Kısa Ders*, çev. Tolga Esmer. İstanbul: Can Yayınları, 2018.
- Suppe, Frederick. "The Search for Philosophic Understanding of Scientific Theories". in *The Structure of Scientific Theories*, ed. Suppe, 3-232. Urbana: III, University of Illinois Press, 1974.
- Uçar, Semra. "Popper ve Heisenberg Belirsizlik İlkesi". *Kaygı Uludağ Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Felsefe Dergisi* 19, 2 (2020): 518-541.
- van Fraasen, Bas C. *Quantum Mechanics: An Empiricist View*. Oxford: Clarendon Press, 1991.
- Whittaker, Edmund. *From Euclid to Eddington*. New York: Dover Publications, Inc., 1958.