

BÖLÜM 8

20. YÜZYILDA BİLİMSEL DÖNÜŞÜMÜN TEMEL TAŞLARI: GÖRELİLİK KURAMI VE KUANTUM MEKANİĞİ

*Alper Bilgehan YARDIMCI*¹

GİRİŞ

Yirminci yüzyıl bilimde büyük değişim ve dönüşümlerin gerçekleştiği bir dönemdir. Bu yüzyıl içerisinde moleküler biyoloji, kuantum fiziği, genetik mühendisliği ve biyoteknoloji gibi çeşitli bilimlerin temellerinin atıldığı, bilimsel keşifler ve yenilikler neticesinde kuramların ve teknolojilerin hızla geliştiği ve bu gelişmelerin insanlık tarihini köklü bir şekilde etkilediği bir dönem olmuştur. Yirminci yüzyılda bilimsel ilerleme önceki dönemlerden çok daha hızlı bir oranda gerçekleşmiş ve toplumsal yaşam üzerindeki etkisinin daha derin olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle yirminci yüzyıl genellikle icatların ve teknolojik gelişmelerin yüzyılı olarak adlandırılmaktadır çünkü bilimsel keşiflerin sayısı artmakla birlikte çok sayıda bilim insanı mevcut teknolojiyi daha etkin bir şekilde kullanarak çalıştıkları alanlarda kapsamlı sonuçlara ulaşmışlardır. Dolayısıyla bilim ve teknoloji bu süre zarfında geçmişte olduğundan çok daha yakın hale gelmiştir. Bununla birlikte, bilimin ilerlemesinin hızlı bir şekilde devam etmesi ve mevcut araştırmaların önemli bir kısmının tarihsel bir bakış açısıyla incelenemeyecek kadar yeni ve çok sayıda olması nedeniyle bu yüzyıldaki bütün bilimsel gelişmelerden ve disiplinlerden bahsetmek mümkün değildir. Bu sebeple yazının kapsamını daraltmak açısından yirminci yüzyılda bilimi ve teknolojiyi en çok etkileyen alan olan fizik bilimindeki önemli konulara değinmek bu dönemin ruhunu anlamak ve bilimin dönüşümüne yönelik bir kavrayışa sahip olmak açısından daha uygun görülmektedir. Bu bağlamda, çalışmada dünyamızın ve evreninin işleyişini anlama konusunda başvurduğumuz disiplinlerden biri olan fizik biliminde yirminci yüzyılda devrimsel bir düşünce olarak karşımıza çıkan Albert Einstein'ın özel ve genel görelilik kuramına yer verilmeyle birlikte aynı zamanda günümüzde etkileri bilimsel ve teknolojik düzeyde devam eden kuantum mekaniğine yönelik genel bir perspektif sunulmaktadır.

¹ Doç.Dr., Pamukkale Üniversitesi, Felsefe Bölümü, alperyardimci@pau.edu.tr,
ORCID iD: 0000-0002-3245-7203

İnsanlar, Antik Çağlardan günümüze, etraflarındaki dünyayı anlamlandırmak için gözleme ve akıl yürütme yeteneklerini kullanmışlardır. Tarihsel olarak bu durumun batılı anlamda ilk örneği ve ilk bilim insanı olarak da kabul gören kişilerden biri Miletli Thales olmuştur. Thales MÖ altıncı yüzyılda evrenin işleyişini anlama konusunda mitolojik veya dini yorumlardan uzak bir şekilde akla ve doğaya başvurarak fiziksel dünyayı ve evreni açıklamaya yönelik çeşitli girişimlerde bulunmuştur (Capelle, 2011). Daha sonra Aristoteles'in evrenin işleyişine yönelik düşünceleri neticesinde fizik alanında ileri sürdüğü çalışmaları uzun yıllar kabul görmüştür. Ancak fizik biliminde Aristoteles'in etkisi altında on yedinci yüzyıla kadar devam eden bu gelişim sürecinde teknoloji ve bilim çoğunlukla gelişmek için farklı yollar izlemişlerdir. Teknoloji daha çok işçilerin veya zanaatkarların pratik deneyimleri ile gelişirken, bilim ise soyut bir düzeyde kalmıştır (Ronan, 2003). Bu doğrultuda özellikle Orta Çağ ve Rönesans döneminde bilim, din tarafından büyük ölçüde etkilenerek bilimde deneysel verilerden daha çok varsayımlara dayanan hipotezler ve teoriler ortaya çıkmıştır (Sarı, 2010). Ancak on yedinci yüzyılın ikinci yarısında bilimsel bir devrim yaşanmıştır. Bu devrim Aristoteles fiziğinin yerine Isaac Newton'ın 1687 yılında yayımlanan eseri Doğa Felsefesinin Matematiksel İlkeleri'nde (*Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*) yer verdiği klasik fizik kurallarının temelini oluşturan ve hareket halindeki cisimlerin dinamiklerini anlamak için temel bir çerçeve çizen ve Newton mekaniği ya da fiziği olarak bilinen görüşlerinin geçmesi ile gerçekleşmiştir. İki yüzyıldan daha fazla bir süre etkisi süren Newton fiziği veya paradigması Albert Einstein'ın 1905 yılında özel görelilik kuramı ve 1915 yılında genel görelilik kuramı kapsamında formüle ettiği düşünceleri ile yeni bir devrimsel sürece girmiştir. Böylece klasik Newton biliminin egemenliğinin etkisi giderek azalmakta ve bu süreç 1900'lü yılların başlarında ortaya çıkan atom ve moleküllerin davranışlarını açıklamak için geliştirilen kuantum mekaniği ile devam etmektedir. Yirminci yüzyılda fizikte yaşanan devrimler bilimin birçok temel prensibini köklü bir şekilde değiştirmiştir. Bu devrimler genellikle Einstein'ın görelilik teorisi ve kuantum mekaniği ya da kuantum fiziği olmak üzere iki ana alanda yoğunlaşmaktadır (Yıldırım, 2016). Bu çerçevede Einstein'ın görelilik teorisi ve kuantum mekaniği yirminci yüzyılda fizik disiplininde bir devrime yol açmış ve diğer bilim dallarını da etkileyerek bu yüzyıl içerisinde bilimin dönüşümüne en çok etki eden çalışma alanlarından bir tanesi olmuştur. Bu kapsamda fizik biliminde gerçekleşen bu dönüşüm sürecini anlamak ve takip edebilmek için konunun detaylarına sırasıyla bakabiliriz.

ISAAC NEWTON (1643-1727)

İngiliz fizikçi, matematikçi ve astronom olan Isaac Newton'ın bilimsel çerçevesi deney ve evrensel matematik yasalarına bağlılık olmak üzere iki ana unsur üzerine inşa edilmiştir (Burke, 2022). Newton için bilimsel bilgi tamamen deneysel sonuçlara ve bu sonuçlardan elde edilen çıkarımlara bağlıdır. Newton'ın *Principia*'sında yer verdiği hareket yasaları ile

kütle çekim yasası çerçevesinde ortaya koyduğu bilgiler ve bunları matematiksel olarak ifade etmesi diğer bir deyişle yöntemi ile matematiksel sonuçlarını birleştirmesi yeni ve devrim niteliğinde bir bilim sistemi ortaya koymuştur (Sarı, 2011). Newton'ın yeni bilim sistemi matematik çerçevesinde doğanın sırlarını keşfetmiş ve etkisi tüm bilimlere yayılmıştır. Böylece, çeşitli disiplinlerde yer alan bilim insanları için Newton, evreni ve Dünya'yı incelemenin kurallarını yeni kurallarını belirlemiştir. Newton'ın (1999) yeni doğa resmi, evrensel yasaların madde ve enerjinin davranışını yönettiği bir yaklaşımı temsil etmektedir. Bu yasalar, bilim insanları tarafından yalnızca deneylere dayanarak matematiksel analiz ve türetme yoluyla insanların evrene yönelik bilgisini aydınlatan mekanik bir tabloyu ortaya koyar. Başlangıçta mekaniğe dayanan Newtoncu bilim sistemi ve paradigması, çeşitli alanlarda yaygın bir başarı elde ederek on sekiz, on dokuz ve yirminci yüzyıllarda bilimsel araştırmaları yönlendiren belirleyici bir kuram olmuştur.

Newton sistemindeki bilim pratiği, yirminci yüzyılın ilk yıllarında önemli bir dönüşüm geçirmiştir. Albert Einstein'ın özel ve genel görelilik kuramları, ardından Werner Heisenberg'in belirsizlik ilkesi, Niels Bohr'un tamamlayıcılık ilkesi ve Max Born'un Erwin Schrödinger'in dalga denklemlerinin istatistiksel yorumunu birleştirmesiyle, 1920'lerin sonlarında bilim camiasında yeni bir teori dalgası ortaya çıkmıştır. Heisenberg ve Bohr'un 1927 yılında Brüksel'de gerçekleştirilen Solvay Enstitüsü'nün Beşinci Fizik Konferansı'nda tartıştığı bu teori, bilim insanları arasında kuantum teorisinin Kopenhag Yorumu olarak kabul görmüştür. Bu teorinin merkezinde, gözlemci ile gözlemlenen arasındaki bağlantının derinlenmesine incelenmesi ve bilimsel ölçümün geleneksel hakimiyetine meydan okuma vardır. Böylece fizikte Newton paradigmasının yerini yeni paradigmalar almaya başlamıştır (Gribbin, 2003).

ALBERT EINSTEIN (1879-1955): ÖZEL VE GENEL GÖRELİLİK KURAMI

20. Yüzyılın en etkili fizikçisi olarak kabul edilen Albert Einstein özel görelilik ve genel görelilik teorilerini formüle etmesiyle tanınan bir fizikçidir (Whittaker, 1955). Aynı zamanda kuantum teorisinin gelişiminde önemli bir ilerleme olan fotoelektrik etki yasasını keşfetmesi nedeniyle teorik fiziğe yaptığı katkılardan dolayı 1921 yılında Nobel Fizik Ödülü'ne layık görülmüştür (Gordon, 2016). Alman İmparatorluğu'nda doğan Einstein, 1895 yılında İsviçre'ye taşınmış ve aynı yıl Alman vatandaşlığından feragat etmiştir. 1897'de İsviçre Federal Politeknik Okulu'nda matematik ve fizik öğretmenliği diploması programına başlamış ve 1900 yılında bu okuldan mezun olmuştur. 1901'de İsviçre vatandaşlığına geçen Einstein 1903 yılında Bern'deki İsviçre Patent Ofisi'nde teknik uzman olarak görev almıştır. 1905'te, Zürih Üniversitesi'nde yirmi dört sayfalık 'Moleküler Boyutların Yeni Bir Belirlenmesi' başlıklı tezi ile doktorasını tamamlamıştır. 1914'te Berlin'e taşınarak

Prusya Bilimler Akademisi ve Humboldt Üniversitesi ile iş birliği yapmış, 1917'de Kaiser Wilhelm Fizik Enstitüsü'nün direktörlüğünü üstlenmiş ve bu esnada Prusya Krallığı'nın bir vatandaşı olarak yeniden Alman vatandaşlığına geçmiştir. 1933'te, Einstein'ın Amerika Birleşik Devletleri'ne yaptığı bir gezi sırasında Adolf Hitler'in Almanya'da iktidara gelmesi ile Yahudilere yönelik yapılan Nazi soykırımı neticesinde Amerika Birleşik Devletleri'nde kalmayı tercih ederek 1940 yılında Amerikan vatandaşlığına geçmiştir. Einstein hayatının geri kalanında Amerika'da yaşamış ve bilimsel çalışmalarına orada devam etmiştir (Stachel, 2001).

Einstein'ın hayatındaki dönüm noktalarından bir tanesi patent ofisindeki işi nedeniyle akademik çalışmaları için yeterince zamanının olmasıdır. O bu ofiste patent başvurularını hızlıca değerlendirerek geri kalan zamanında on altı yaşından beri üzerine düşündüğü bir ışık ışınının yanında koşarsanız ne olurdu sorusu üzerine çeşitli cevaplar aramıştır (Bardon, 2024). Einstein, Zürih'te yer alan Politeknik Okul'da ışığın doğasını tanımlayan Maxwell denklemlerini incelediğinde, James Clerk Maxwell'in kendisinin dahi bilmediği bir gerçeği keşfetmiştir. Bu gerçek ne kadar hızlı hareket edilirse edilsin ışığın hızının aynı kaldığı gerçeğidir. Einstein'ın bu bulgusu Newton'ın hareket yasalarını ihlal etmektedir çünkü Newton'ın kuramında mutlak bir hız kavramı yoktur. Bu düşünce Einstein'ı görelilik ilkesinin temel ilkelerinden birini formüle etmeye yöneltmiştir. Buna göre 'ışığın hızı, herhangi bir eylemsiz çerçevede sabittir' (Cahill, 2005). Bu kapsamda özellikle 1905 yılı, Einstein'ın 'mucizevi yılı' olarak adlandırılmaktadır çünkü o bu yıl içerisinde fizik alanında önemli bir bilimsel dergi olan "*Annalen der Physik*" dergisinde modern fiziğin yönünü değiştiren "*İşığın Üretimi ve Dönüşümü ile İlgili Heuristik Bir Bakış Açısı*" (Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt), "*Moleküler-Kinetik Isı Teorisi Tarafından Gerektirilmiş Durgun Sıvılarda Asılı Küçük Parçacıkların Hareketi Üzerine*" (Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen), "*Hareket Halindeki Cisimlerin Elektrodinamiği Üzerine*" (Zur Elektrodynamik bewegter Körper) ve "*Bir Cisim'in Eylemsizliği Enerji İçeriğine Bağlı Mıdır?*" (Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig) başlıklı dört bilimsel makale kaleme almıştır. Bu makalelerinde Einstein (1905a, 1905b, 1905c, 1905d) sırasıyla ışığı kuantum teorisine açıklayarak fotoelektrik etkileri ele almakta, daha sonra atomların varlığının ilk deneysel kanıtını sunmakta, özel görelilik kuramının matematiksel temelini vermekte ve son olarak görelilik kuramının $E=mc^2$ denkleminin² yol açtığını göstermektedir (Bernstein, 2006).

Einstein'ın görelilik teorisinden önce astronomlar çoğunlukla evreni Newton'ın *Principia*'sında ileri sürülen eylemsizlik yasası, hareket yasası ve etki-tepki yasası olarak bilinen üç hareket yasası ve kütleçekim yasası çerçevesinde anlamışlardır. Newton'ın yasaları, fiziksel uygulamaların neredeyse her alanında geçerliliğini kanıtlamış, mekaniğin ve yer-

² $E=mc^2$ denklemi, enerji (E) ile kütle (m) arasındaki ilişkiyi belirtir ve bu ilişki ışık hızının karesi (c^2) ile çarpılarak tanımlanır.

çekiminin anlaşılmasının temelini oluşturmuştur. Ancak Newton'ın çalışmaları ışığı tam olarak açıklayamamaktadır. Bu doğrultuda 1800'lerde bilim insanları, Newton'ın fiziği çerçevesinde ışığın değerlendirilebilmesi için ışığın bir ortamdan geçtiğini varsaymışlar ve bu ortama 'ışık saçan eter' (*luminiferous ether*) adını vermişlerdir. Işık saçan eter, on dokuzuncu yüzyılda bilim insanlarının ışığın yayılmasını açıklamak için varsaydıkları bir kavramdır. Bu kavram, ışığın boşlukta nasıl hareket ettiği sorusunu çözmek amacıyla ortaya atılmıştır. Işığın yayılmasını sağlayan bir ortam olarak eterin, ışık dalgalarının bir gitar telinin ses titreşimini iletmesinde olduğu gibi sıkı, aynı zamanda gezegenlerin ve yıldızların hareketlerinde de tamamen fark edilmeyecek biçimde olduğu diğer bir deyişle gezegenlerin ve yıldızların hareketleri gibi büyük ölçekli hareketlerde tamamen gözlemlenemez bir yapıda ya da şeffaflıkta olduğu kabul edilmektedir (Ginoux, 2024). Böylece bu eterin, ışığın hızını etkileyebileceği düşünülmektedir. Bu doğrultuda araştırmacılar, eteri tespit etmeye çalışarak ışığı daha iyi anlamayı ummuşlardır. 1887 yılında fizikçi Albert A. Michelson ve kimyager Edward Morley, Dünya'nın eter içerisindeki hareketinin ışığın hızını nasıl etkilediğini hesaplama girişimlerinde beklemedikleri bir şekilde ışığın hızının Dünya'nın hareketine bağlı olmaksızın aynı kaldığını bulmuşlardır. Michelson-Morley deneyi olarak da bilinen bu deney, ışığın hızının eter hipotezine rağmen sabit olduğunu ortaya koymuştur. Michelson-Morley deneyi sonucunda elde edilen bulgular, Einstein'ın eterin var olduğunu reddetmeye ve ışığın bir boşlukta sabit hızda hareket edebileceğini ileriye sürmeye sevk etmiştir (Ronan, 2003). Böylece Einstein evrendeki en yüksek hızın ışık hızı olduğu ve hiçbir enerjinin ışıktan daha hızlı hareket edemeyeceği düşüncesi çerçevesinde özel görelilik teorisine ilişkin görüşlerini ortaya koymuştur. Sonuç olarak, özel görelilik teorisi ışığın boşlukta yayılmasını açıklamak için yeni bir fizik anlayışının ve paradigmanın gerekliliği sonucunda ortaya çıkmıştır. Bu paradigma değişikliği Einstein'ın özel ve genel görelilik teorileri ile gerçekleşmiştir.

Genel olarak görelilik, Albert Einstein tarafından geliştirilen kapsamlı fiziksel kuramları kapsamaktadır. Özel görelilik (1905) ve genel görelilik (1915) kuramıyla Einstein (1952), önceki fiziksel kuramların sayısız varsayımını ortadan kaldırarak uzay, zaman, madde, enerji ve yerçekiminin temel kavramlarını yeniden tanımlamıştır. Görelilik, kuantum mekaniğiyle birlikte çağdaş fiziğin temelini oluşturmakta ve özellikle kozmik olayların ve evrenin geometrisinin anlaşılmasının temelini oluşturmaktadır. Albert Einstein'ın 1905 tarihli yayınlarından hareketle ileri sürdüğü özel görelilik kuramı, fizik alanındaki en önemli çalışmalardan biridir. Özel görelilik hızın kütle, zaman ve uzay üzerindeki etkisini açıklar. Özel görelilik kuramı, ışık hızının enerji ve madde arasındaki ilişkiyi belirlediğini ve böylece küçük kütle miktarlarının (m) klasik denklemi $E = mc^2$ ile ifade edildiği gibi önemli miktarda enerjiye (E) dönüştürülebileceğini ileri sürer. Dolayısıyla özel görelilik teorisi, yüksek hızlarda hareket eden nesnelerin davranışlarını anlamak için bir çerçeve sağlamaktadır (Einstein, 1952). Bu teori, fizik yasalarının tüm eylemsiz referans çerçevelerinde, hızlarından bağımsız olarak aynı olduğunu belirten görelilik prensibine dayan-

maktadır. Boşlukta ışığın sabit hızı yaklaşık olarak saniyede 299792 kilometredir ve bu hız ışık kaynağının hareket hızından bağımsızdır. Bir nesne ışık hızına yaklaştıkça, nesnenin kütlesi ve onu hareket ettirmek için gereken enerji sonsuz hale gelir. Bu herhangi bir maddenin ışık hızından daha hızlı gitmesinin imkânsız olduğu anlamına gelmektedir (Hill & Cox, 2012). Özel görelilik, zaman ve uzayın mutlak olmadığını, gözlemcinin hızına bağlı olarak değiştiğini öngörmektedir; bu durum Albert Einstein'ın özel görelilik teorisinin öngördüğü iki önemli etki olan 'zaman genişlemesi'³ ve 'uzunluk sıkışması'⁴ gibi etkileri ortaya çıkarmaktadır (Jefimenko, 1998).

Özel görelilik, öncelikle muazzam enerjiler, aşırı hızlar ve galaktik mesafeler içeren bağlamlarda kullanılan ve kütleçekim kuvvetlerinin karmaşıklıklarını hariç tutan 'özel' durumlarla ilgilidir. Einstein, 1915 yılında genel görelilik teorisine ilişkin çalışmasını yayınlayarak kütle çekimini görelilik teorilerine dahil etmiştir. Genel görelilik, Einstein'ın yerçekiminin uzay-zaman dokusunu nasıl etkilediğine dair anlayışını ifade eder (Hartle, 2021). Diğer bir deyişle, "cisimlerin fiziksel evrende gözlediğimiz genel şartlar içindeki hareketlerini ele alır" (Conan, 2003, s. 575). Genel görelilik teorisi, uzay ve zamanın birbirleriyle ayrılmaz bir şekilde bağlı olduğunu belirten ancak yerçekiminin varlığını kabul etmeyen özel görelilik teorisinin bir nevi genişletilmiş halidir. Einstein, iki kuramını ileri sürdüğü on yıllık süre içerisinde özellikle büyük kütleli cisimlerin uzay-zaman dokusunu eğdiğini ve bu eğilmenin yerçekimi olarak tezahür ettiğini belirlemiştir (Hartle, 2021). Buna göre genel görelilik teorisi yerçekimini uzay-zamanın bükülmesi olarak açıklayan bir fizik teorisidir. Bu teori, özellikle büyük kütlelerin ve güçlü yerçekimi alanlarının etkilerini anlamak için kullanılmaktadır. Diğer bir deyişle genel görelilik teorisi "ivmeli hareketi ele aldığı ve kütleçekimini de cisimlerin ivmeli hareketle düşmesine sebep olduğu için, genel görelilik teorisi aynı zamanda bir kütle çekimi teorisi idi. Kütleçekiminin cismin kütlesine bağlı olmasının uzayın büyük bir kütleli cisimlerin varlığı sebebiyle eğrilmesinden kaynaklandığını" (Conan, 2003, s. 575) göstermektedir. Newton'ın kütleçekim yasası cisimler arasındaki çekim kuvvetinin kütlelerinin çarpımıyla doğru, aralarındaki mesafenin karesiyle ters orantılı olduğunu ifade etmektedir. Dolayısıyla, çekim kuvveti cisimlerin aralarındaki mesafeye ve kütlelerine bağlıdır. Ancak genel görelilikte aradaki mesafe maddenin varlığının uzay ve zamandaki etkisi altındadır (Conan, 2003).

³ Zaman genişlemesi, hareket eden bir gözlemcinin zamanının, durağan bir gözlemciye göre daha yavaş geçtiğini ifade eder. Buna göre hız arttıkça zaman daha fazla genişlemektedir.

⁴ Uzunluk sıkışması, özel görelilik teorisinin bir sonucudur ve zaman genişlemesi ile paralel bir şekilde, hızın artmasıyla uzay-zamanın nasıl değiştiğini açıklar. Uzunluk sıkışması, bir nesnenin hareket ettiği yönde uzunluğunun, hareket etmeyen bir gözlemci tarafından ölçülen uzunluğuna göre daha kısa görünmesini ifade eder. Hız arttıkça uzunluk sıkışması daha belirgin hale gelir.

KUANTUM MEKANIĞI VE KOPENHAG YORUMU

Kuantum mekaniği, evrenin ve doğanın atom ve atom altı düzeylerdeki davranışını açıklayan temel bir teoridir. Kuantum fiziği, kuantum kimyası, kuantum alan teorisi, kuantum teknolojisi ve kuantum bilgi bilimi gibi diğer alanlar için aslı bir temel görevi görür (Feynman ve arkadaşları, 1965). Kuantum mekaniği, geleneksel fiziğin açıklayamadığı çeşitli sistemlerin davranışlarını açıklama yeteneğine sahiptir. Klasik fizik, makroskopik ve optik mikroskopik seviyeler gibi günlük ölçekler söz konusu olduğunda doğadaki çeşitli fenomenleri açıklayabilmektedir. Ancak, atomik ve atom altı seviyeler gibi son derece küçük ölçeklerdeki fenomenleri açıklama konusunda yetersiz kalmaktadır. Kuantum mekaniği hem büyük hem de küçük ölçeklerde geçerli olan bir yaklaşım olarak klasik fizikteki çoğu fikri türetmek için kullanılabilir (Jaeger, 2014).

Kuantum mekaniği, hem parçacık-dalga ikiliği hem de konum-momentum ikiliği kavramları üzerine inşa edilmiştir. Kuantum sistemleri, enerji, momentum, açısal momentum ve diğer niceliklerin ayrı değerlerine kuantize edilmiş bağlı durumlar sergiler. Bu durum niceliklerin sürekli olarak ölçülebildiği klasik sistemlerle tam bir tezat oluşturmaktadır. Kuantum sistemleri hem parçacık hem de dalga olarak tanımlanabilen özellikler sergiler ve dalga-parçacık ikiliği olarak bilinen bir fenomeni gösterir. Ayrıca başlangıç koşulları tam olarak bilinse dahi fiziksel bir niceliğin değerinin ölçülmeden önce doğru bir şekilde tahmin edilmesinde sınırlamaların olduğunu gösterir. Buna göre konum ve momentum gibi bazı fiziksel özellik çiftlerini aynı anda bilebileceğimiz kesinlik düzeyinde temel bir sınır vardır. Bu açıdan bu ikilikler kuantum mekaniğinin temelini oluşturmakta ve birçok fiziksel olayın anlaşılmasında kritik rol oynamaktadırlar (Gottfried, 2018).

Kuantum mekaniği, ünlü bir Alman fizikçi olan Max Planck'ın (1858-1947) 1900 yılında kara cisim radyasyonu problemine yönelik çözümü ve Albert Einstein'ın 1905 yılında fotoelektrik etkiyi açıklayan, enerji ve frekans arasındaki ilişki üzerine ele aldığı "Işığın Üretimi ve Dönüşümü ile İlgili Heuristik Bir Bakış Açısı" adlı makalesi gibi klasik fiziğin açıklayamadığı olayları açıklama girişimlerinin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır (Guillemin, 2003). Genç bir üniversite öğrencisi olarak Planck, doğanın anlaşılmasının neredeyse tamamlanmış gibi görüldüğü ve çözülecek çok az şeyin kaldığı düşünülen fizik alanında çalışma zorluğuyla karşı karşıya kalmıştır. Planck 1875'te Münih Üniversitesi'nde fizik eğitimi almaya başladığında, bir profesör kendisine fizik alanında çalışılacak konuların esasen sona erdiğini ve tüm önemli keşiflerin çoktan yapıldığını ifade etmiştir (Cline, 1987). Ancak Planck çeşitli aksiliklerle karşılaşmasına rağmen yeni bir alan olan termodinamik alanına ilgi duymuştur. 1895 yılında Planck, kara cisim ışıması olarak da bilinen kara cisim radyasyonunun gizemli sorununu ele alma gibi zorlu bir göreve girişmiştir. Kara cisim radyasyonu, çevresiyle termodinamik dengede olan ve kara cisim olarak adlandırılan idealize edilmiş opak bir cismin son derece yüksek sıcaklıklara ulaşacak şekilde ısıtıldığında oluşan elektromanyetik radyasyonun salınmasıdır (Landsberg, 2014). Klasik

fizik, bir cismin sıcaklığı arttıkça yaydığı radyasyonun frekansının da artacağını ve elektromanyetik spektrumun tüm frekanslarını sürekli bir şekilde kapsadığını öne sürmektedir. Bu durum Rayleigh-Jeans yasası ile açıklanmakta ve düşük frekansta (kızılötesi ve altı) doğru kabul edilmektedir. Ancak, bu model yüksek frekansta (ultraviyole bölgesinde) ise doğru sonuçlar vermemiştir. Hipotezle ilişkilendirilen en büyük felaket ya da sorun, spektrumun üst aralığında yayılan enerjinin sonsuz olacağına yöneliktir (Cline, 1987). On dokuzuncu yüzyılın sonlarında, klasik fizik yaklaşımları kullanılarak kara cisim radyasyonunun spektral yoğunluğunu tanımlamak için Rayleigh-Jeans yasası geliştirilmiştir. Bu yasa, elektromanyetik radyasyonun enerji yoğunluğunun dalga boyunun aksine orantılı olarak arttığını öngörmektedir. Ancak bu öngörü, dalga boyları çok kısa (ultraviyole bölge) olduğunda enerji yoğunluğunun sonsuz hale geldiğini ve bunun fiziksel olarak mantıksız olduğunu göstermektedir. Bu durum ‘ultraviyole felaketi’ olarak bilinen bir çelişkiye yol açmıştır. Bu problem, kara cisim radyasyonunun enerji yoğunluğu ile ilgili beklenen ve gerçekleşen gözlemlerin uyumsuz sonuçlarından kaynaklanmıştır (Kunstatter, & Das, 2022).

Planck’ın bu soruna çözümü ise 1900 yılında kara cisim radyasyonunun enerji dağılımını açıklamak için yeni bir yaklaşım getirmesi ile gerçekleşmiştir. Bu yaklaşıma göre Planck, enerjinin belirli miktarlarda (kuantumlar) yayıldığını ve bu nedenle enerji yoğunluğunun dalga boyuna bağlı olarak farklı bir şekilde dağıldığını öne sürmektedir (Cline, 1987). Diğer bir deyişle, Planck’ın formülü, enerjinin kuantumlar halinde yayıldığını ve bu nedenle enerji yoğunluğunun sonsuz olmadığını belirtmektedir. Böylece Planck’ın geliştirdiği formül, enerji yoğunluğunun hem kısa hem de uzun dalga boylarında doğru bir şekilde hesaplanmasını sağlayarak ultraviyole felaketini çözüme kavuşturmuştur. Kapsamlı teorik ve matematiksel analizlerden sonra Planck böylece ikili bir çözüm getirmiştir. Planck, metalin yaydığı enerjinin sürekli olmadığını, bunun yerine Ludwig Boltzman’ın termodinamik denklemlerine dayanarak kuantum adı verilen ayrı paketler halinde salındığını öne sürmüştür (Cline, 1987). Planck’ın teorisi ve denklemleri yalnızca sonsuz enerji problemini çözmekte aynı zamanda deneysel olarak gözlemlenen yüksek frekans davranışını da doğru bir şekilde tahmin etmektedir. $E=h\nu$ olarak formüle⁵ edilen bu denklem ile Planck ışığın enerjisi ile frekansı arasındaki ilişkiyi tanımlamış ve bu formülle ışığın enerji paketlerinin (kuantumlarının) frekansa bağlı olarak belirli bir değerde olduğunu göstermiştir (Singh, 2008). Kısaca denklemin anlamı: fotonlar, elektromanyetik radyasyonun temel birimidir ve enerjileri frekanslarıyla doğru orantılıdır. Böylece gerçekleştirilen deneyler aracılığıyla frekans spektrumunun üst sınırında önemli bir azalma olduğu keşfedilmiştir. Planck’ın teorisi sınırsız enerjinin varlığının fiziksel olarak imkânsız olduğunu belirtmekte ve denklemleri ile sınırsız enerji sorununu çözümlenerek deneysel olarak gözlemlenen yüksek frekans davranışını da tam olarak öngörmektedir (Cline, 1987). Dolayısıyla bu sorun, Max Planck’ın kuantum teorisi ile çözülmüştür. Planck’ın kuantum

⁵ E ışığın enerjisi, h Planck sabiti, ν ışığın frekansını ifade eder.

teorisi, sıcaklıkla radyasyon frekansının orantılı olmadığını, bunun yerine belirli bir dağılım gösterdiğini ve frekansın arttıkça radyasyonun yoğunluğunun belirli bir noktadan sonra hızla azaldığını ortaya koymuştur. Bu yeni model, elektromanyetik spektrumun çeşitli frekansta radyasyon yayabileceğini ancak bunun belirli bir sıcaklık aralığında sınırlı olduğunu göstermiştir. Planck'ın teorisi, siyah cisim radyasyonu problemini çözerek, bu radyasyonun spektrumunu ve sıcaklık ile ilişkisini daha doğru bir şekilde açıklamıştır. Bu teori, kuantum mekaniğinin temel öğelerinden biri olarak kabul görmektedir. Planck'ın bu bulguları, kuantum teorisinin temel taşlarını oluşturmuş ve daha sonra Albert Einstein'ın fotoelektrik etkiyi açıklamak için kuantum teorisini genişletmesine, Niels Bohr'un atom modelini geliştirmesine ve genel olarak modern kuantum mekaniğinin ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır (Rechenberg, 1982).

Planck'ın kuantum teorisi, beş yıl sonra 1905 yılında Albert Einstein'ın kuantize elektromanyetik dalgalar üzerindeki fotoelektrik etkiyi açıklayan ve Nobel kazandığı çalışması olan "*Işığın Üretimi ve Dönüşümü ile İlgili Heuristik Bir Bakış Açısı*" adlı makalesinin yayınlanmasıyla önemli bir doğrulama kazanmıştır. Albert Einstein (1905a), Planck'ın kuantum hipotezini kullanarak fotoelektrik etkiyi açıklayan bir teori ileri sürmüştür. Fotoelektrik etki, bir metal yüzeye ışık düşürüldüğünde metalden elektronların yayılması olayıdır. Bu fenomen, ışığın belirli bir frekansa sahip olduğunda elektronları yüzeyden serbest bırakabileceğini göstermektedir. Einstein yazısında (1905a) ışığın [foton adı verilen] enerji paketlerine de kuantize edildiğini ya da ışığın enerji paketleri (kuantumlar veya fotonlar) halinde yayıldığını ileri sürmüştür. Her foton, belirli bir enerjiye sahiptir ve bu enerji, ışığın frekansına bağlıdır. O Planck'ın enerji kuantizasyonu fikrini genişleterek ışığın da bu şekilde davranabileceğini belirtmektedir. Einstein'ın fotoelektrik etkiyi açıklayan bu teorisi, ışığın parçacık doğasını vurgulamakta ve klasik dalga teorisinin yetersizliğini göstermektedir. Einstein'ın fotoelektrik etki açıklaması, ışığın hem dalga hem de parçacık özelliklerini taşıdığı fikrini desteklemiş ve modern kuantum teorisinin temel iddialarını sağlamlaştırmıştır (Guillemin, 2003). Böylece Planck'ın, Einstein'ın teorilerinin deneysel sonuçlarını tahmin etme ve açıklama konusundaki büyük başarısı, kullandığı kuantize edilmiş enerji ve onun ayrık kesikliliği kavramına büyük itibar kazandırmıştır. Enerjinin ayrık ve kesikli birimlere kuantize edilmesi kavramı, süreklilik ve doğrusallığın önemini vurgulayan fizikte yeni bir fikirdir. Kuantize etme fiziksel olguların klasik anlayışından kuantum mekaniği olarak bilinen daha yeni bir anlayışa sistematik geçiş prosedürüdür. Klasik mekanikten kuantum mekaniği inşa etme prosedürüdür (Gottfried, 2018).

Bununla birlikte kuantalar atomun doğasını ve yapısını araştıran genç bir Danimarkalı fizikçi olan Niels Bohr'un da (1885-1962) ilgisini çekmiştir. Bohr frekans spektrumunda emisyon çizgilerinin konumunu tahmin edebilecek ve açıklayabilecek bir yasa keşfetmek amacıyla atomların çizgi emisyon spektrumları üzerinde araştırmalar yürütmektedir (French & Kennedy, 1985). Bohr spektroskopisi uzmanı bir arkadaşının tavsiyesi üzerine, 1885'te Johann Jakob Balmer tarafından hidrojenin spektral çizgisi için kurulan matema-

tiksel korelasyonu yeniden inceler. Niels Bohr, 1913 yılında “Atomların ve Moleküllerin Yapısı Üzerine” (On the Constitution of Atoms and Molecules) adlı makalesinde bir hidrojen atomunun spektrumunu tanımlamak için kuantizasyondan yararlanır. Bohr, Balmer serisinin⁶ analizinde, matematiksel ilişkinin, spektrumun kesin tahminini koruyan Planck sabiti h kullanılarak yeniden yazılabileceğini fark etmiştir (Cline, 1987). Niels Bohr’un, hidrojen atomunun kuantum analiziyle elde ettiği sonuçlar onun kuantum mekaniğine olan ilgisini arttırmış ve bu alandaki bilimsel çalışmalarına yön vermiştir. Aynı zamanda bu hidrojen atomu analizi, atomun karakterize edilme biçiminde köklü bir değişime yol açmış ve fizikçilerin atom modelini yeniden şekillendirmiştir (Pais, 1991). Bununla birlikte, daha önce 1911’de Ernest Rutherford, elektronların atom çekirdeği etrafında dairesel yörüngelerde döndüğü bir atom modeli önermiştir. Ancak, bu modelde ciddi sorunlar vardır. Klasik mekaniğe göre, bu tür yörüngelerdeki elektronlar sürekli olarak enerji yayar ve dolayısıyla enerji kaybeder, bu da elektronların yörüngelerinde kararsız hale gelmelerine neden olmaktadır. Bu sebepten dolayı, Rutherford’un modeli (2014) atomun kararlı bir yapıda olmadığına işaret etmektedir. Ancak, deneysel gözlemler ve bilimsel testler, atomların aslında kararlı olduğunu ve sürekli bir enerji yayma eğiliminde olmadığını ortaya koymuştur. Rutherford’un atom modeli (2014), elektronların çekirdek etrafında dairesel yörüngelerde döndüğünü öngörmektedir. Ancak, bu modelde elektron yörüngelerinin sayısının sonsuz olduğu ve elektronların enerjisinin bu yörüngelere bağlı olarak değiştiği varsayımı bulunmaktadır. Ayrıca, elektronların boyutları ve konumlarının yörüngelerine göre değiştiği de bu atom modelinde iddia edilmektedir (Cline, 1987). Klasik kara cisim teorisindeki gibi bu enerjinin teoride tüm seviyelerde eşit derecede mümkün olduğu ve sürekli olduğu varsayılmıştır. Rutherford’un önerdiği atom modeline Bohr’un kuantum mekaniğini uygulaması sonucunda geliştirilen yeni atom modelinde, elektronlar belirli enerji seviyelerine sahip sabit yörüngelerde bulunurlar (Heilbron, 1981). Bu yörüngelerdeki elektronlar, enerji yaymaz veya emmezler. Diğer bir deyişle elektronlar sadece belirli, kuantize edilmiş enerji seviyelerindeki yörüngelerde bulunabilmektedirler. Dolayısıyla elektronlar radyo dalgaları veya elektromanyetik radyasyon yaymaz. Ancak elektronlar, daha yüksek enerji seviyelerine geçmek için belirli bir enerji miktarını (kuantum) emmekte veya daha düşük enerji seviyelerine geçerken belirli bir enerji miktarını yaymaktadır. Yayma veya emilim yörüngeler arasında kesikli, ayrı bir hareketi temsil etmektedir (Pais, 1991).

1900’lerin ilk yıllarında başlayan atom ve atom altı fenomenler üzerine yapılan bu araştırmalar, klasik fiziğin temel kavramlarında bir revizyona yol açmıştır. Ancak, revizyonun tutarlı bir teori statüsüne ulaşması çeyrek asır sürmüştür. Günümüzde ‘eski kuantum teorisi’ olarak bilinen bu ara dönemden elde edilen önemli sonuçlar arasında bahsedildiği üzere Max Planck’ın kara cisimlerin yaydığı radyasyonun spektrumunu açıklaması,

⁶ Balmer Serisi, hidrojen atomlarının yüksek enerji seviyelerinden düşük enerji seviyesine geçiş yaparken ürettikleri bir dizi spektral çizgiyi ifade eder. (Banet, 1966).

Albert Einstein'ın fotoelektrik etki açıklaması ve Bohr'un hidrojen atomu modeli yer alır (Hoffman, 1947). Daha sonra Kuantum Mekanığında, Niels Bohr, Werner Heisenberg, Max Born ve diğer araştırmacıların katkılarından türetilen ve Kopenhag yorumlaması olarak adlandırılan bir yaklaşımla kuantum mekaniğinin önemine ilişkin bir dizi bakış açısı ortaya konulmuştur. 'Kopenhag' ismi başlangıçta Danimarkadaki şehri ifade etmiş, ancak daha sonra 1950'lerde Heisenberg tarafından 1925 ile 1927 arasında formüle edilen kavramları tanımlamak için benimsenmiştir (Faye, 2019).

Kopenhag yorumunun farklı versiyonlarında ortak olan özellikler şunlardır: Kuantum mekaniği doğası gereği belirsizdir ve olasılıklar Born kuralı kullanılarak hesaplanır. Alman fizikçi Max Born'dan ismini alan Born Kuralı kuantum mekaniğinde, bir kuantum sisteminin ölçülen değerlerinin olasılıklarını hesaplamak için kullanılmaktadır (Guillemin, 2003). Bu ilke kuantum mekaniğin dalga fonksiyonlarının fiziksel anlamını açıklamada kritik bir rol oynamaktadır. Ayrıca, tamamlayıcılık prensibi, nesnelere tüm özelliklerinin aynı anda gözlemlenemeyen belirli çiftler halinde olduğunu belirtir. Bir nesneyi gözleme veya ölçme eylemi geri döndürülemezdir ve bir nesneye yalnızca ölçüm sonuçlarına göre bir gerçeklik atfedilebilir. Kopenhag tarzı yorumlar, kuantum tanımlarının nesnel olduğunu, yani fizikçilerin kişisel inançlarından ve diğer keyfi zihinsel faktörlerden bağımsız olduğunu savunur (Gottfried, 2018).

Kopenhag Üniversitesi'ne bağlı bir araştırma enstitüsü olan Niels Bohr Enstitüsü'nde Kopenhag yorumunun önemli bir destekçisi fizikçi Werner Heisenberg'dir (1901-1976). Heisenberg, enstitüde kuantum teorisi üzerine çalışmalar yaparken elektron gibi bir parçacığın momentumu ile konumunun tespit edilmesine yönelik ölçümlerle ilgili düşünceler ortaya koymuştur (Guillemin, 2003). Ona göre bir parçacığın konumu ve momentumu aynı anda kesin olarak ölçülemez (Lieneman, 1986). Bu problem kuantum mekaniğinde '*belirsizlik ilkesi*' (uncertainty principle) olarak bilinen temel bir kuraldan kaynaklanmaktadır. Atom düzeyindeki deneyler, momentum ve konum tarafından belirlenen belirli bir zaman ve uzay alanında bir parçacığın enerjisinin değerinin kesin olmayan bir ölçümüyle sonuçlanmıştır. Konumu yüksek doğrulukla belirleyen bir deney, momentumun yanlış bir ölçümüyle veya tam tersiyle sonuçlanmıştır (Heisenberg, 1958). Genellikle 'Heisenberg belirsizlik ilkesi' olarak da adlandırılan belirsizlik ilkesi, kuantum mekaniği alanında temel bir ilkedir. Bu ifade, konum ve momentum gibi belirli fiziksel özellik çiftlerinin aynı anda belirlenebileceği kesinlik düzeyinde bir kısıtlama olduğunu ileri sürer. Başka bir şekilde ifade etmek gerekirse, (konum gibi) bir özellik daha fazla kesinlikle ölçüldükçe, (momentum gibi) diğer bir değeri bilmenin kesinlik düzeyi azalır (Gottfried, 2018). Heisenberg ilkesi belirli bir zamandaki konum ve momentum gibi değişmeyen özellikleri içeren herhangi bir ölçüm için ölçülen sonucun Planck sabiti h 'ye eşit olabileceğini ancak ondan az olamayacağını ifade etmektedir (Cline, 1987). Enerji de doğası gereği kuantumdur ve ölçümü doğruluk ya da hassasiyet açısından kuantum büyüklüğü hv 'yi⁷ geçemez.

⁷ Bir fotonun enerjisini ifade etmek için $E=hf$ formülü kullanılır.

Heisenberg'in belirsizlik ilkesi, klasik Newton mekaniğinde bilim insanlarının arzuladığı mutlak ölçümü imkânsız hale getirmiş ve kuantum teorisinin Kopenhag yorumunun iki temel ilkesinden biri haline gelmiştir. Kuantum teorisinde Kopenhag yorumunun ikinci ilkesi ise '*tamamlayıcılık ilkesi*'dir (complementarity principle). Bu ilke kuantum fenomenlerinin dalga-parçacık ikiliğinin çözümüne dayanmaktadır (Pais, 1991).

Konum-momentum ikiliğinin çözümü 1924 yılında Fransız Fizikçi Louis de Broglie'nin (1892-1987) çalışmasıyla başlamıştır. De Broglie elektronların dalga doğasının keşfine yönelik çalışmaları ile 1929 yılında Nobel Ödülü almıştır. Bu çalışmalarında (1929) Einstein tarafından ileri sürülen bir iddiayı ele almıştır. Einstein 1905 yılındaki çalışmasında fotoelektrik emisyon meselesini açıklığa kavuşturmayı başarmakla birlikte aynı zamanda ışığın doğasının anlaşılmasında büyük bir karışıklığa da yol açmıştır. Einstein'ın çalışmasında ışık bir enerji paketi veya parçacığı olarak davranış gösterirken klasik fizikte ise ışık bir enerji dalgası gibi hareket etmektedir. Her ne kadar, Einstein fotoelektrik emisyonları gibi radyasyon içinde ikili bir dalga-parçacık doğasının var olduğunu iddia etse de bu varsayımını tam olarak temellendirememiştir. Broglie, Einstein'ın foton davranışı fikrini elektrona uygulayarak, elektron parçacığının sözde 'parçacık dalgası' içinde hareket ettiğini ileri sürmüştür (Pais, 1991). Daha açık bir şekilde ifade etmek gerekirse Broglie sadece ışığın (foton) değil maddenin de dalga özellikleri gösterebileceğini öne sürmektedir ve bu dalgaların dalga boyu ile momentumu arasında da bir ilişki olduğunu ifade etmiştir. De Broglie dalga boyunu ifade eden $\lambda=ph$ bu denkleme⁸ göre bir parçacığın momentumu artıkça dalga boyu küçülmektedir. Bu durum parçacıkların dalga özelliğine sahip olabileceğini ortaya koymakla birlikte dalga parçacık ikiliğine yol açmaktadır. Bu düşünce hem dalgaların hem parçacıkların birlikte var olabileceği ve birbirlerine dönüştürülebileceği anlamına gelmektedir (Guillemain, 2003). Broglie'nin (1929) iddiasına göre, evrendeki her nesne bir dalga ile ilişkilidir. Bu nedenle, temel bir parçacıktan atomlara, moleküllerden gezegenlere ve ötesine kadar her nesne belirsizlik ilkesine tabidir. Onun çalışmaları konum momentum ikiliği ile kuantum mekaniğinde bir dönüm noktası olmuş ve maddenin dalga parçacık özelliği gösterebileceğini göstermiştir.

1926'da Avusturyalı fizikçi Erwin Schrödinger (1887-1961), de Broglie'nin çalışmalarını ele alarak dalga mekaniği sistemini daha da geliştirmiştir. Kuantum ve belirsizlik konularına karşı çıkan Schrödinger, Bohr'un atom modelindeki elektronların kararlı durumlar arasında yaptığı kuantum sıçramalarını⁹ ortadan kaldırmayı ummuştur (Pais, 1991). Başlangıçta dalga denklemlerinin bu durumu gerçekleştirdiği düşünülse de daha sonra Max Born'un analizi ve çalışmaları ile kuantum sıçramaları kavramı devam etmiştir. Gerçekte Born, Schrödinger'in dalgalarının olasılık dalgaları olduğunu göstermiştir. Born'un yorumuna göre, kuantum sıçramaları, bir parçacığın veya atomun belirli enerji seviyeleri

⁸ $\lambda = ph$ denkleminde λ , parçacığın dalga boyunu p , parçacığın momentumunu, h ise Planck sabitini temsil eder.

⁹ Kuantum sıçraması terimi genellikle Niels Bohr tarafından atomik enerji seviyeleri arasındaki geçişleri açıklarken kullanılır.

arasında geçiş yaptığı bir süreçtir; bu süreçler enerji değişimi ile ilişkilidir ve belirli olasılıklar ile gerçekleşir (Cline, 1987). Max Born, bir parçacığın dalga fonksiyonunun karesinin, parçacığın belirli bir konumda bulunma olasılığını verdiğini önermiştir. Bu yaklaşım, Schrödinger'in umduğu kesin konumun deterministik tanımı yerine, bir parçacığın belirli bir zamanda belirli bir konumda olma olasılığını sunmaktadır (Pais, 1991).

1927 yılına doğru, dalga ve parçacık ikiliği üzerine yapılan araştırmalar sürmektedir. Schrödinger ve Born, elektronların davranışını dalgalar olarak açıklayan denklemler geliştirir; ancak Bohr modeli, elektronların belirli enerji seviyelerinde bulunabileceğini ve bu seviyeler arasında geçiş yaparken enerjilerini $h\nu$ şeklinde yayılan kuantumlar halinde değiştirdiğini öngörmüştür. Ancak, bu model aynı zamanda elektronların kesin bir konum tanımına sahip olmaktan ziyade, belirli bir olasılık dağılımı içinde hareket ettiğini de belirtmektedir (Heilbron, 1981). Heisenberg'in belirsizlik ilkesi, bir parçacığın konumunu ve momentumunu aynı anda kesin bir şekilde ölçmenin mümkün olmadığını ifade eder; bu nedenle, Bohr modelinin öngörülleri ile Heisenberg'in ilkesinin birbirini tamamladığı söylenebilir (Pais, 1991). Heisenberg'in belirsizlik ilkesini formüle etmesinden kısa bir süre sonra Bohr, fikirlerini ortaya koymuştur. Bohr (1913; 1934) kendi çalışmalarında, kuantum varlıklarının, elektron ve foton gibi aynı anda hem parçacık hem de dalga olduklarını vurgular; ancak bunlar sadece birini ya da diğerini temsil etmez. Herhangi bir deneyde ölçülen davranış, kuantum varlığının doğasının yalnızca bir yönünü temsil etmektedir. Bohr için, bir gözlemcinin gözlemlenen nesne üzerindeki etkisini tanımak, iki görünüşte çelişkili davranışı birleştiren anahtar noktayı oluşturmaktadır (Pais, 1991). Deney sırasında gözlemlenen davranış, deneyin eylemine bağlıdır; yani bir kuantum nesnesini gözlemlenmenin eylemi, o nesneyi öyle bir şekilde etkiler ki, deneysel olarak bağımlı bir sonuç ortaya çıkar. Örneğin, ışığın dalga doğasını yapıcı ve yıkıcı dalga girişimleriyle araştıran bir çift yarık difraksiyon deneyi, her zaman ışığın bir dalga gibi davrandığına dair bir ölçümle sonuçlanmaktadır. Benzer şekilde, bir parçacık olarak ışığın davranışını ölçmek için fotoelektrik emisyon kullanan bir deney, her zaman ışığın parçacık davranışını ortaya çıkarır (Guillemin, 2003). Heisenberg'in belirsizlik ilkesine göre, aynı anda her iki özelliği de kesin olarak belirleyebilen bir deney mümkün değildir. Böyle bir ölçüm, kuantum varlığının enerjisinin bir ölçümüdür ve dolayısıyla herhangi bir enerji ölçümü gibi, belirsizlik ile sınırlıdır (Sweet, 1993). Bu nedenle, bir kuantum varlığının kesin bilgisi ancak farklı deneylerden elde edilen tüm tamamlayıcı tanımlamaların, farklı koşullar altında gerçek doğasını eşit şekilde ortaya koyduğunu kabul etmek yoluyla keşfedilebilir (Rae, 2004).

Tamamlayıcılık ve belirsizlik ilkeleri, Ekim 1927'de gerçekleştirilen Brüksel'deki Solvay Enstitüsü'nün Beşinci Fizik Konferansı'nda Bohr ve Heisenberg tarafından bir araya getirilerek tutarlı bir teori olarak kamuoyuna açıklanmıştır. Teorinin en büyük eleştirilenlerinden ikisi olan Erwin Schrödinger ve Albert Einstein konferansta yer alan katılımcılar arasındadır. Konferans sırasında Einstein ve Bohr arasında gerçekleşen diyalog, kuantum teorisinin gelişimindeki belki de en önemli diyaloglardan biridir (Bacciagaluppi & Valen-

tini. 2009). Einstein, kuantum teorisinin belirsizlik ilkesine dayalı doğasına itiraz eder. Ona göre, doğa belirli bir deterministik yapıya sahiptir ve her olayın önceden belirlenmiş bir sonucu olmalıdır (Gordon, 2016). Aynı zamanda Einstein, kuantum teorisinin olasılık yorumunu kabul etmez. O, daha fazla gerçeklik ve belirlenebilirlik arayışı içinde olması ve doğanın temelde rastgele değil, deterministik olması gerektiğine inanmasından kaynaklı kuantum teorisinin belirli unsurlarına karşı çıkmaktadır (Stachel, 2002). Einstein doğadaki olayların belirli kuvvetler ve yasalar aracılığıyla öngörülebileceğini savunan Newton'un klasik fizik anlayışını benimsemiş ve bu anlayışın temelinde yatan deterministik dünya görüşüne inanan bir fizikçidir. Bu nedenle Bohr'un tamamlayıcılığının gerektirdiği Heisenberg'in temel belirsizliğini kabul edememektedir. Bu kapsamda Fizik Konferansı'nda her gün Bohr ve Einstein arasında yeni bir tartışma yaşanmaktadır. Einstein, kuantum teorisine meydan okumak amacıyla çeşitli düşünce deneylerine¹⁰ başvurmakta, bu düşünce deneyleri ise Bohr tarafından çürütülmektedir. Böylece Bohr, Einstein'ın argümanlarına karşı çeşitli yanıtlar vermiş ve kuantum teorisinin geçerliliğini savunmuştur. Bohr'un bu konudaki yanıtları, kuantum mekaniğinin temellerine dair önemli açıklamalar içermektedir ancak Einstein'ı hiçbir zaman teorisinin tam anlamıyla meşruiyetine ikna edememiştir (Bacciagaluppi & Valentini. 2009). Bununla birlikte, Einstein her zaman belirsizlik ilkesi ve kuantum teorisinin olasılık yorumundan rahatsız olsa da kuantum fiziğine topyekûn karşı çıkmamıştır (Pais, 1991). Solvay Konferansı ve Bohr-Einstein tartışmalarının ardından, kuantum teorisi bilim camiasında hızla yaygın bir şekilde kabul görmüştür. Einstein, Schrödinger ve diğer bilim insanları tam anlamıyla kuantum mekaniğini benimsemeseler de bu teori bilim tarihindeki en başarılı teorilerden biri olarak kendini kanıtlamıştır.

SONUÇ

Kuantum teorisinin formülasyonunun yirminci yüzyılın başlarında klasik fiziğin temellerini sarstığı aşikardır. Kuantum mekaniğinde önem teşkil eden konum-momentum ölçümündeki belirsizlikler neticesinde bilim insanlarının dünya hakkında keşfedebilecekleri bilgi miktarının bir sınırı olduğu yönünde bir çıkarımda bulunmaları yanlış olmayacaktır. Ayrıca, Einstein gibi birçok kişi deterministik bir anlayışın bir zaman sonra kuantum mekaniğinin yerini alacağı düşüncesi ile hareket ederek kuantum mekaniğini bir devrim olarak değerlendirmemişler, onlar kuantumu birçok yönüyle açıklığa kavuşturulması gereken bir teori olarak görmüşlerdir. Ancak görüldüğü üzere birçok bilim insanı için kuantum teorisi, kendisinden önce gelen klasik fiziğin tamamen ve devrimci bir şekilde terk edilmesi anlamına gelmektedir. 1927'de sunulan kuantum teorisinin Kopenhag Yorumu, fizikçiler Werner Heisenberg ve Niels Bohr'a göre Newton'ın bilimi için temel bir meydan

¹⁰ Düşünce deneylerinin ne olduğuna ilişkin ayrıntılı bilgi için bakınız: Yardımcı, A. B. (2020). "Düşünce Deneylerinin Tarihsel Kökeni, Kavramın İlk kullanımı ve Ernst Mach'ın Düşünce Deneyi. (Ed.), E. Doğan. Current and Historical Debates in Social Sciences içinde (51-68). London.

okuma oluşturmaktadır. Kuantum teorisinin nedensel uzay-zamanı ve geleneksel Newton biliminin deterministik yapısını görünüşte reddetmesi sonucunda Newton mekaniğı belirli ölçülerde yeniden formüle edilmek zorunda kalmıştır. Einstein'ın özel ve genel görelilik kuramı ve kuantum mekaniğinin başarısı geleneksel Newton paradigmasının tanımladığı şekilde bilimi uygulamanın eksikliklerini ortaya koymasında yatmaktadır. Newton bilimi artık evrenin işleyişini yöneten evrensel yasaları tam olarak açıklayamamaktadır. Bu nedenle Newton paradigmasının başlangıcından bu yana ilk kez, matematik bilimi ve deneysel bulgular, evreni açıklamanın bir aracı olmaktan ziyade, doğanın kapsamlı bir şekilde anlaşılmasının önünde bir engel olarak değerlendirilmektedir. Einstein'ın düşünceleri ve özellikle kuantum teorisi tarafından ortaya konulan bu durum yirminci yüzyıl bilim anlayışında devrimsel düşünceyi ve fizik bilimindeki devrimi gözler önüne sermektedir. Einstein fiziğinden farklı olarak kuantum teorisi, aslında bir devrimi tamamlamamış olsa da bir devrim için koşulların ortaya çıkmasına yardımcı olmuştur. Böylece fizik biliminin temel anlayışı değişmiş ve bu değişimler teknolojiye büyük ilerlemelere ve yeniliklere zemin hazırlamıştır.

KAYNAKLAR

- Bacciagaluppi, G., & Valentini, A. (2009). *Quantum theory at the crossroads: Reconsidering the 1927 Solvay conference*. Cambridge University Press.
- Banet, L. (1966). Evolution of the Balmer series. *American Journal of Physics*, 34(6), 496-503. <https://doi.org/10.1119/1.1971853>
- Barbour, J. (2001). *The end of time: The next revolution in physics*. Oxford University Press.
- Bardon, A. (2024). *A brief history of the philosophy of time*. Oxford University Press.
- Bernstein, J. (2006). *Secrets of the Old One: Einstein, 1905*. Springer Science & Business Media.
- Bohr, N. (1913). I. On the constitution of atoms and molecules. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 26(151), 1-25. <https://doi.org/10.1080/14786441308635557>
- Bohr, N. (1934). *Atomic theory and the description of nature*. CUP Archive.
- Burke, J. G. (Ed.). (2022). *The uses of science in the age of Newton* (Vol. 8). University of California Press.
- Cahill, R. T. (2005). The speed of light and the Einstein legacy: 1905-2005. *arXiv preprint physics/0501051*.
- Capelle, W. (2011). *Sokrates'ten önce felsefe* (3rd ed.; O. Özügül, Trans.). İstanbul: Pencere Yayınları.
- Cline, B. L. (1987). *Men who made a new physics: Physicists and the quantum theory*. University of Chicago Press.
- De Broglie, L. (1929). The wave nature of the electron. *Nobel Lecture*, 12, 244-256.
- Einstein, A. (1905a). Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt.
- Einstein, A. (1905b). Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen. *Annalen der Physik*, 4.
- Einstein, A. (1905c). Zur Elektrodynamik bewegter Körper. *Annalen der Physik*, 17(10), 891-921. <https://doi.org/10.1002/andp.19053231314>
- Einstein, A. (1905d). Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig? *Annalen der*

- Physik*, 323, 639-641. <https://doi.org/10.1002/andp.19053231314>
- Einstein, A. (1952). *The principle of relativity*. Dover.
- Faye, J. (2019). Copenhagen interpretation of quantum mechanics. In E. N. Zalta (Ed.), *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Metaphysics Research Lab, Stanford University.
- Feynman, R. P., Leighton, R. B., Sands, M., & Hafner, E. M. (1965). *The Feynman lectures on physics; vol. I. American Journal of Physics*, 33(9), 750-752. <https://doi.org/10.1119/1.1972678>
- French, A. P., & Kennedy, P. J. (1985). *Niels Bohr: A centenary volume*. Cambridge MA & London: Harvard University Press.
- Ginoux, J. M. (2024). From luminiferous ether to the Earth's motion. In *Poincaré, Einstein and the discovery of special relativity: An end to the controversy* (pp. 9-13). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Gordon, F. (2016). *Albert Einstein*. ABDO.
- Gottfried, K. (2018). *Quantum Mechanics: Fundamentals*. CRC Press.
- Gribbin, J. (2003). *Science: A History (1543-2001)*. Penguin Press.
- Griffiths, D. J. (2012). *Revolutions in twentieth-century physics*. Cambridge University Press.
- Guillemin, V. (2003). *The story of quantum mechanics*. Courier Corporation.
- Hartle, J. B. (2021). *Gravity: An introduction to Einstein's general relativity*. Cambridge University Press.
- Heilbron, J. L. (1981). Rutherford-Bohr atom. *American Journal of Physics*, 49(3), 223-231. <https://doi.org/10.1119/1.12243>
- Heisenberg, W. (1958). *Physics and philosophy*. New York: Prometheus Books.
- Hill, J. M., & Cox, B. J. (2012). Einstein's special relativity beyond the speed of light. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 468(2148), 4174-4192. <https://doi.org/10.1098/rspa.2012.0336>
- Hoffman, B. (1947). *The strange story of the quantum*. New York: Harper and Brothers.
- Jaeger, G. (2014). What in the (quantum) world is macroscopic? *American Journal of Physics*, 82(9), 896-905. <https://doi.org/10.1119/1.4891218>
- Jefimenko, O. D. (1998). On the experimental proofs of relativistic length contraction and time dilation. *Zeitschrift für Naturforschung A*, 53(12), 977-982. <https://doi.org/10.1515/zna-1998-12-301>
- Kunstatler, G., & Das, S. (2022). Introduction to the quantum. In *A first course on symmetry, special relativity and quantum mechanics: The foundations of physics* (pp. 163-196). Cham: Springer International Publishing.
- Landsberg, P. T. (2014). *Thermodynamics and statistical mechanics*. Courier Corporation.
- Lieneman, D. (1986). The Heisenberg uncertainty principle. *The Science Teacher*, 53(4), 49. <http://www.jstor.org/stable/24140084>
- Michelson, A. A., & Morley, E. W. (1887). On the relative motion of the Earth and the luminiferous ether. *American Journal of Science*, 3(203), 333-345. <https://doi.org/10.2475/ajs.s3-34.203.333>
- Newton, I. (1999). *The Mathematical Principles of Natural Philosophy* (B. Cohen & A. Whitman, Trans.). University of California Press.
- Pais, A. (1991). *Niels Bohr's times: In physics, philosophy, and polity*. Oxford University Press.
- Rae, A. I. (2004). *Quantum physics: Illusion or reality?* Cambridge University Press.
- Rechenberg, H. (1982). *The historical development of quantum theory* (Vol. 1). Springer Science & Business Media.
- Ronan, C. A. (2003). *Bilim tarihi: Dünya kültürlerinde bilimin tarihi ve gelişmesi* (3rd ed.; E. İhsanoğlu & F. Günergun, Trans.). TÜBİTAK Yayınları.
- Rutherford, E. (2014). The structure of the atom. In *The collected papers of Lord Rutherford of Nelson* (pp. 445-455). Routledge.
- Sarı, M. A. (2010). Francis Bacon ve Galileo'nun bilim ve yöntem tasarımları. *Felsefe Dünyası*, 52, 208-229.

- Sarı, M. A. (2011). Birincil ve ikincil nitelikler üzerine Descartes, Locke ve Berkeley. *Yeditepe'de Felsefe*, 57, 150-189.
- Singh, R. (2008). Max Planck and the genesis of the energy quanta in historical context. *Current Science*, 95(6), 788-792. <http://www.jstor.org/stable/24102616>
- Stachel, J. (2002). *Einstein from 'B' to 'Z'*. Birkhäuser.
- Sweet, W. (1993). Uncertainty: The life and science of Werner Heisenberg. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 49(7), 50-53. <https://doi.org/10.1080/00963402.1993.11459925>
- Whittaker, E. (1955). Albert Einstein, 1879-1955. *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society*, 1, 37-67. <https://doi.org/10.1098/rsbm.1955.0005>
- Yardımcı, A. B. (2020). Düşünce deneylerinin tarihsel kökeni, kavramın ilk kullanımı ve Ernst Mach'ın düşünce deneyi. In E. Doğan (Ed.), *Current and historical debates in social sciences* (pp. 51-68). London.
- Yıldırım, C. (2016). *Bilim tarihi* (21st ed.). Remzi Kitabevi.

ÖZKAN

Bilim Tarihi

Bilim Tarihi

Editör : Cengiz İskender ÖZKAN



akademisyen.com

ONLINE SİPARİŞ



Online Veri
Tabanımıza Erişim



AKADEMİSYEN KİTABEVİ

Halk Sokak No: 5/A Sıhhiye-Yenişehir/ANKARA

Tel: 0312 431 16 33 - 0312 432 21 84



akademisyenyayinevi



akademisyenktp



AKADEMİSYEN
KİTABEVİ

BİLİM TARİHİ

EDİTÖR

Cengiz İskender ÖZKAN



© Copyright 2024

Bu kitabın, basım, yayın ve satış hakları Akademisyen Kitabevi A.Ş.'ye aittir. Anılan kuruluşun izni alınmadan kitabın tümü ya da bölümleri mekanik, elektronik, fotokopi, manyetik kağıt ve/veya başka yöntemlerle çoğaltılamaz, basılamaz, dağıtılamaz. Tablo, şekil ve grafikler izin alınmadan, ticari amaçlı kullanılamaz. Bu kitap T.C. Kültür Bakanhı bandrolü ile satılmaktadır.

ISBN 978-625-375-056-5
Sayfa ve Kapak Tasarımı Akademisyen Dizgi Ünitesi

Kitap Adı Bilim Tarihi
Yayıncı Sertifika No 47518

Editör Cengiz İskender ÖZKAN
ORCID iD: 0000-0002-1953-979X
Baskı ve Cilt Vadi Matbaacılık

Yayın Koordinatörü Yasin DİLMEN
Bisac Code HIS000000

DOI 10.37609/akya.3287

Kütüphane Kimlik Kartı
Bilim Tarihi / ed. Cengiz İskender Özkan.
Ankara : Akademisyen Yayınevi Kitabevi, 2024.
176 s. : şekil. ; 160x235 mm.
Kaynakça ve Dizin var.
ISBN 9786253750565
1. Tarih--Bilim.

GENEL DAĞITIM
Akademisyen Kitabevi A.Ş.

Halk Sokak 5 / A Yenışehir / Ankara
Tel: 0312 431 16 33
siparis@akademisyen.com

www.akademisyen.com

ÖNSÖZ

Bilimin tarihini yazmadan önce bilimlerin tarihlerini yazmaya katlanmamız gerek. Bilimlerin tarihleri, bir ırmağın kollarının o ırmak içerisinde eriyişi gibi bilimin tarihi içerisinde eriyecektir.

Alexandre Koyré

Bilim tarihinin kısa bir tarihi olarak okunabilecek bu kitap genel okuyucu kitlesi için yazılmıştır. Bilim felsefesinin önde gelen isimlerinden Imre Lakatos bilim tarihindeki olguları değerlendirebilmek için bilim felsefesini gerekli görürken, bilim felsefesinin temel problemleri üzerine yapılan tartışmaları anlayabilmenin önkoşulu olarak bilim tarihini tanımayı gerekli görür. Bu bağlamda bu eserin bilim felsefesi tartışmaları için bir hazırlık niteliğine de sahip olduğunu belirtmek gerekir. Fransız bilim tarihi geleneğinden Alexandre Koyré bilimin pratik bir etkinlik olmaktan çok bir theoria etkinliği olduğunu belirterek, sırf bu nedenle bilim tarihi yazımının, içselci tarih yazımı diyebileceğimiz bir anlayışı gerektirdiğine, başka bir deyişle bilimsel gelişmelerin arkasındaki düşünceleri dile getirmesi gerekliliğine işaret eder. Onun sözleriyle dile getirecek olursak “bize Newton’ı açıklayabilecek olan XVII. Yüzyıl İngilteresinin toplumsal yapısı değildir”. Bilim tarihçisi dışsal, toplumsal koşullardan çok bilimsel düşüncenin kendisine yönelmelidir. Bilimin pratik bir etkinlik olmaktan öte teorik bir etkinlik olduğu vurgusu bilimin belirli bir fayda uğruna değil, hakikat uğruna yapılması anlamına gelecektir. Nitekim bir çok bilimsel teori doğuş aşamasında toplumsal açıdan yarırsız görülmüş bile olabilir ama bu bilimsel etkinliğin değerini azaltmaz, tarihte de azaltmamıştır. Çoğu zaman büyük bilimsel kafalar toplumsal inançlara rağmen bilimsel teorilerini geliştirmiş ve onları ortak sağduyuya karşı savunma cesaretini göstermişlerdir.

Bilim, insanın doğal olgular karşısında korkuyla karışık bir hayret duygusu duymasıyla, doğal olguları anlamak ve açıklamak çabasıyla başlamıştır. Bilim çağlar boyunca insanlığın doğayı, içinde yaşadığımız evreni ve elbette kendisini de anlamasının ve tanımmasının en başta gelen düşünsel yollarından birisi olarak kabul edilmiştir. Bilim tarihini öğrenmek tam da bu nedenle insanlığın düşünsel serüvenini öğrenmek, insanın kendisini tanımak çabası içine girmesi demektir. Bu eser böyle bir çabaya katkıda bulunmak üzere hazırlanmıştır. Eserin “Bilimsel Devrim Nedir?” başlığını taşıyan ilk bölümünde bilim tarihindeki büyük kavramsal dönüşümler olarak bilimsel devrimleri açıklamak amacıyla bilimsel devrim kavramını üç tarihsel vaka üzerinden incelemekteyim. Ömer Faik Anlı “Antik Yunan’da Doğa Felsefesi ve Fizik” başlığını taşıyan ikinci bölümde Antik Yunan’da doğa felsefesinin gelişimini ve bu dönemdeki düşünürlerin felsefi yaklaşımlarını incelemekte; “Ortaçağ Avrupa Coğrafyasında Doğa Felsefesi ve Fizik” başlığını taşıyan üçüncü bölümde ise Orta Çağ Avrupa’sında doğa felsefesi ve fizik çalışmalarının, modern bilimsel dev-

rime giden yolda önemli adımlar olduğunu ve bu dönemde yapılan çalışmaların niteliksel yaklaşımlardan niceliksel analizlere geçişin modern bilimsel düşüncenin doğuşuna giden yolda önemli aşamalar olduğunu ortaya koymaktadır. “İslam Bilim Tarihi’ne Kısa Bir Giriş” başlığını taşıyan dördüncü bölümde Tuncay Saygın 8. ve 15. Yüzyıllar arasında İslâm coğrafyasındaki bilimsel faaliyetleri ve bunların düşünsel arka planını ortaya koyarak İslâm coğrafyasında öne çıkan bilimsel keşifleri ve buluşları tarihsel bir gelişim hattı içinde ve İslâm coğrafyası düşünürlerinin bilimsel kavrayış şeklini yansıtacak şekilde ele almaktadır. “Rönesans’ta Bilim” başlığını taşıyan beşinci bölümde Ercan Salğar Batı Avrupa tarihinde 14. ve 16. Yüzyıllar arasında ortaya çıkan radikal yenilikleri ve değişimleri ele alarak bu değişim ve yeniliklerin yaklaşık iki bin yıl boyunca egemen olan Aristotelesçi bilim anlayışının dizgesel otoriterliğini nasıl ortadan kaldırdığını Kopernik devrimi gibi önemli tarihsel gelişmeler üzerinden göstermektedir. “17. ve 18. Yüzyılda Bilim” başlığını taşıyan altıncı bölümde Mehmet Ali Sarı, Kopernik’in başlattığı bilimsel devrimin 17. ve 18. Yüzyıllarda astronomi ve fizik alanlarında ortaya çıkan sonuçlarını ele almış, Brahe, Kepler ve Galileo gibi bilim insanlarının çalışmalarının ve Newton’ın mekanik doğa anlayışına getirdiği matematiksel yaklaşımın modern bilim devrimini nasıl başardığını ortaya koymuştur. Yedinci bölüm “Biyolojide Evrimsel Değişimin İzinde: Buffon’dan Darwin’e Evrim Kuramı ve Bilimsel Devrim” başlığını taşımaktadır. Bu bölümde Alper Bilgehan Yardımcı bir tür özel bilimler tarihi çalışması olarak Biyoloji biliminde 19. Yüzyılda ortaya çıkan değişimlerin izini sürerek önceki bölümlerde Astronomi ve Fizik alanında gerçekleşen devrimlerin tamamlayıcısı olacak bir devrimi, Biyoloji alanında ortaya çıkan Darwinci devrimi tarihsel arka planı üzerinden incelemiştir. Alper Bilgehan Yardımcı eserin son bölümünde ise “20. Yüzyılda Bilimsel Dönüşümün Temel Taşları: Görelilik Kuramı ve Kuantum Mekanikliği” başlığı altında 20. Yüzyılda teorik fizik alanında Albert Einstein’ın özel ve genel görelilik teorileri ile günümüzdeki etkileri devam eden kuantum mekaniği gibi gelişmelerin günümüz bilimi açısından bazı sonuçlarını tartışmaya açarak uzay-zaman kavramlarımızdaki ve Newton fiziğinin deterministik yapısındaki dönüşümleri incelemiştir.

Yukarıda verdiğimiz kısa özetten anlaşılacağı üzere bu eser bilimsel düşüncemizde ortaya çıkan değişimleri ele almış, tek tek özel bilimlerin tarihi olmaktan ziyade genel bir bilim tarihi çalışması olarak düşünülmüştür. Bu eser, okuyucuya insanlık tarihi boyunca bilimsel düşünce biçimimizde, doğayı ve evreni kavrayış biçimimizde ortaya çıkan dönüşümleri tanıtmak, bu dönüşümlerin nedenleri ile bu dönüşümlerin uzun ve kısa vadeli sonuçlarını ortaya koymak amacındadır. Bu eserin ortaya çıkmasında yazılarıyla katkıda bulunan değerli meslektaşlarım Ömer Faik Anlı’ya, Tuncay Saygın’a, Ercan Salğar’a, Mehmet Ali Sarı’ya ve Alper Bilgehan Yardımcı’ya; ayrıca basım ve yayım aşamasında emeği geçen herkese teşekkürlerimi sunarım.

Cengiz İskender ÖZKAN

AYDIN, 2024

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1	Bilimsel Devrim Nedir?1 <i>Cengiz İskender ÖZKAN</i>
BÖLÜM 2	Antik Yunan'da Doğa Felsefesi ve Fizik23 <i>Ömer Faik ANLI</i>
BÖLÜM 3	Orta Çağ Avrupa Coğrafyasında Doğa Felsefesi ve Fizik.....41 <i>Ömer Faik ANLI</i>
BÖLÜM 4	İslâm Bilim Tarihi'ne Kısa Bir Giriş (8-15.Yüzyıl)55 <i>Tuncay SAYGIN</i>
BÖLÜM 5	Rönesans'ta Bilim.....85 <i>Ercan SALĞAR</i>
BÖLÜM 6	17. ve 18. Yüzyılda Bilim105 <i>Mehmet Ali SARI</i>
BÖLÜM 7	Biyolojide Evrimsel Değişimin İzinde: Buffon'dan Darwin'e Evrim Kuramı ve Bilimsel Devrim.....125 <i>Alper Bilgehan YARDIMCI</i>
BÖLÜM 8	20. Yüzyılda Bilimsel Dönüşümün Temel Taşları: Görelilik Kuramı ve Kuantum Mekaniği147 <i>Alper Bilgehan YARDIMCI</i>

YAZARLAR

Prof. Dr. Cengiz İskender ÖZKAN
Aydın Adnan Menderes Üniversitesi
Felsefe Bölümü

Doç.Dr. Ercan SALĞAR
Selçuk Üniversitesi, Edebiyat
Fakültesi, Felsefe Bölümü

Prof. Dr. Ömer Faik ANLI
Ankara Üniversitesi, Dil ve Tarih-
Coğrafya Fakültesi, Felsefe Bölümü

Prof.Dr. Mehmet Ali SARI
Pamukkale Üniversitesi, Felsefe
Bölümü

Prof.Dr. Tuncay SAYGIN
Aydın Adnan Menderes Üniversitesi,
İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi,
Felsefe Bölümü

Doç.Dr. Alper Bilgehan YARDIMCI
Pamukkale Üniversitesi, Felsefe
Bölümü