

## Turkish Review

# Kuantum Mekaniği

## Temel Kavramlar Büyük Patlamadan Beyine

### Quantum Mechanics

### Basic Concepts from Big-Bang to Brain

Sultan TARLACI

Editor-in-Chief, NeuroQuantology

#### Abstract

Quantum mechanics deals with the behaviour of matter and light on the atomic and subatomic scale. It attempts to describe and account for the properties of molecules and atoms and their constituents--electrons, protons, neutrons, and other more esoteric particles such as quarks and gluons. Its concepts frequently conflict with common-sense notions derived from observations of the everyday world. Quantum mechanics has attracted some of the ablest scientists of the 20th century, and they have erected what is perhaps the finest intellectual edifice of the period. Quantum mechanics is concerned with phenomena that are so small-scale that they cannot be described in classical terms. The history of quantum mechanics may be divided into three main periods. The first began with Planck's theory of black-body radiation in 1900; it may be described as the period in which the validity of Planck's constant was demonstrated but its real meaning was not fully understood. The second period began with the quantum theory of atomic structure and spectra proposed by Niels Bohr in 1913. True quantum mechanics appeared in 1926, reaching fruition nearly simultaneously in a variety of forms--namely, the matrix theory of Max Born and Werner Heisenberg, the wave mechanics of Louis V. de Broglie and Erwin Schrödinger, and the transformation theory of P.A.M. Dirac and Pascual Jordan.

Key Words: quantum mechanics, particle, wave-particle, classical physics, observer, basic

NeuroQuantology 2003; 4:428-448

**K**lasik fiziği, kuantum mekaniği (KM) olmadan düşünmek imkansızdır. KM teorik temel parçacık fiziğinin tam merkezinde bulunur. Atom ve molekülleri doğru şekilde anlatmak bakımından mükemmel bir teori olmasına rağmen bir çokları tarafından olasılıklar, belirsizlikler, kesin tanımlamaları engelleyen ve pek açık olmayan bir teori olarak düşünülür.

KM olmaksızın DNA'nın yapısı ve fonksiyonu, yıldızların renklerini, atomların kararlılığını, kimyasal bağları, soyaçekimin güvenilirliğini, üstün iletken ve üstün akışkanların özellikleri ve lazeri anlayamaz ve anlatamazdık. Ancak, KM kendi içinde bir kuram değildir, daha çok bütün çağdaş fizik kuramlarının içinde yer alması gereken bir çerçevedir.

Bütün bunların arasında kuantum mekaniğinin ustalarından birisi de "Biliyor musunuz, benim fizik öğrencilerim de anlamıyorlar. Çünkü ben anlamıyorum. Hiç kimse anlayamıyor... Ben size doğanın niçin bu kendine özgü biçimde çalıştığını anlatamam" diyerek sağduyumuzu ne kadar çok zorladığını ima etmektedir. Çünkü kuantum mekaniği doğayı sağduyu bakımından zırva olarak tanımlar. Aslında KM'in mantıksal ve matematiksel yapısı, her türlü çelişkiden uzak, tamamen bağdaşık, içten tutarlı özellik gösterir. John Bell'in dediği gibi: "Formüllerimiz var ve bunlar aşırı işliyor, ama onları sindirebilmiş değiliz." Asıl sorun KM'den doğan felsefi düşünceleri, klasik bakış açımızdan kurulamadığımızdan algılamamız.

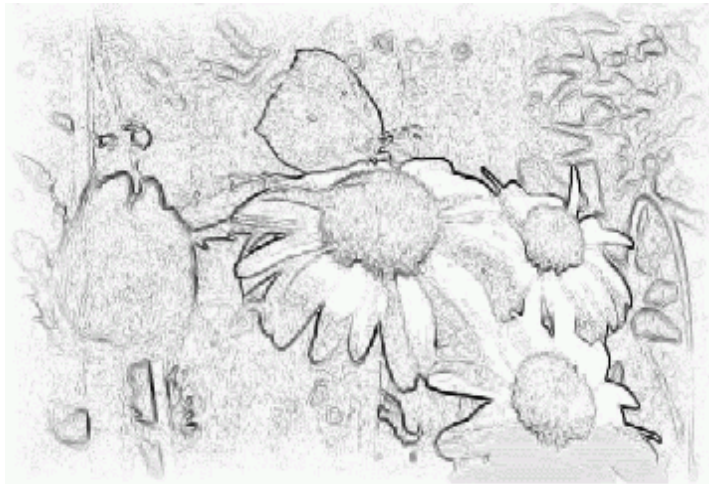
Temel fizik kuramları içerisinde (evrenin büyük patlamayla oluşumu bunun yanında sadece yararlı olarak kabul edilmesine karşın) "üstün" kuramlardan kabul edilir. Yani, dünyadaki tüm olgulara uygulanabilir ve hiç bir gözlemsel sapmaya yer vermez. Ancak, içinde yaşadığımız dünyanın eksiksiz bir resmini tanımlamak için halen yetersizdir ve belki de daha sonraki teorilerin temelini oluşturan bir çocuktur. KM'nin yasaları çok kesin bir biçimde formüle edilmesine rağmen sonuçları "yorumlamak" tuhaf bir belirsizlikle uğraşmaya benzer. Ancak, o kadar kesin işlemektedirler ki onları yadsımak mümkün değildir. Bu kuralları, küçükler alemindeki tüm fiziksel doğal olaylara aynı şekilde uygulandığı takdirde geçerlidir. Bununla birlikte bir cisim büyüdükçe ve ağırlığı arttıkça, KM ile hareketin normal "klasik" yasaları arasındaki farkı giderek görmek güçleşir.

Yirminci yüzyılın büyük fizik kuramları; kuantum kuramı, özel ve genel rölativite ve kuantum alan kuramıdır. Bu kuramlar birbirinden bağımsız değildir. Genel rölativite özel rölativite üzerine kurulduğu gibi, kuantum alan kuramı da özel rölativite ve kuantum kuramına dayanmaktadır. Kuantum alan kuramı,  $10^{11}$ 'de bir ölçüsünde doru olan ve şimdiye kadar yapılmış olan en duyarlı fiziksel kuram olduğu söylenir. Genel rölativite ise  $10^{14}$ 'de bir doğruluğa sahiptir.

KM, yalnızca eski Newtoncu mekaniğin ortaya attığı düşüncelerle değil, sağduyumuzla da pek çok açıdan uyumsuzluk içindedir. Sağduyumuzu törpülemiştir. KM'nin bize saçma geldiği anlar olabilir. Ona inanmamızın nedeni öngörülerinin deneysel sonuçlarla mükemmel uyumudur. Örneğin; elektronun manyetik momentumu (yani elektronun manyetik alana verdiği tepki, klasik olarak  $g=e/2m$  ile KM'de  $g=eh/4\pi$  ile hesaplanır) KM hesaplamalarla 1.001159652(46) olarak bulunurken, deneysel sonuçlar 1.0011596521(93) sayısını verir ve sadece on birinci ondalık basmakta kuramsal ve deneysel ölçüm ayrılır. Fakat doğanın istediği yol budur. KM, klasik mekaniğin büyük nesnelere hakkında verdiği sonuçlara da kendiliğinden uyum göstermesine rağmen, bunun tersi doğru değildir.

Kuantum fiziğinin şu günlerde yüzüncü doğum gününü yaşıyoruz. 1900'da Max Planck'ın fizikçilerin yıllardır üzerinde uğraştıkları bir problemin kabul edilebilir bir çözümünü bulmasıyla doğum başlamıştı. Isıtılan bir madde parçası kızdıkcı ııldamaya başlar. Daha yüksek sıcaklıklarda kızıl kor, sonunda da akkor haline gelir. Yüksek ısılarda böyle siyah cisimler tarafından ışınlar yayılır. Bu "kara cisim ışıması"dır. Planck, ışımanın büyüklükleri belli paketler halinde yayıldığını ileri sürmüştü. Daha öncesinde foto-elektrik olayı bilinmesine rağmen, enerjinin ancak ayrı ayrı enerji parçacıkları, yani enerji parçacıkları/paketleri halinde yayılması yeni bir düşünceydi. Ama bu açıklamanın doğayı tanımlarken kullandığımız temel kavramları kökünden sarsacağından habersizdi. Böyle bir paketteki (kuantumdaki) enerji miktarı, dalga boyuyla ters, ışıma frekansıyla doğru orantılıydı. Denklem olarak  $E=h\lambda$  ile ifade edildi. Gerek duyduğu sabiti de  $h$  ile gösterdi.

Böylece, ışık hızı ya da pi sayısı gibi doğanın bir değişmezini de keşfetti. Böylece kuantum dünyasının perdesi iyice aralandı. Oyunun başlaması çok uzun zaman almadı. 1905'lerde ise Louis de Broglie, denklemde belirtildiği gibi,  $\lambda$  frekansıyla



salınım yapan bir "dalga"nın bu parçacığa eşlik edeceğini ortaya koydu.

1913'de Niels Bohr, Planck sabitini daha parlak bir biçimde kullandı ve çekirdeğin yörüngesindeki elektronların açısal momentumunun yalnızca  $h/2\pi$ 'nin tam katları değerler alabileceğini ortaya koydu. Daha sonrada Dirac daha kullanışlı olan  $\hbar=h/2\pi$  tanımını verdi. Buna göre açısal momentümler elektronlar için sadece  $0, \hbar, 2\hbar, 3\hbar, 4\hbar$  şeklinde değerler alabiliyordu. Bu yeni sistemle atomun çevresindeki elektronların kararlı enerji düzeyleri ortaya kondu. Yine Broglie 1923'de parçacık-dalga karmaşasına bir aşama daha katarak parçacıkların bazen dalgalar gibi davrandıklarını öne sürdü. Böylece Einstein'ın ünlü  $E=mc^2$ 'si ile Planck'ın  $h\nu$ 'si ilişkisi iyice belirginleşti:  $E=mc^2=h\nu$ . Burada  $\lambda$  frekansında salınan yalnız kesikli  $h\nu/c^2$  kütle birimlerinden oluşmalıydı. Bunlarla doğa, parçacıklar ve alan salınımlarından oluşan tutarlı bir dünya oluşturuyordu. 1925'de Werner Heisenberg "matriks" mekaniğini ve 1926'da Erwin Schrödinger "dalga mekaniğini" ortaya koyarak kuantum kuramı anlamına kavuştu. Daha sonra, bu iki kuram Paul Dirac tarafından tek bir kuram haline getirildi.

KM'in temel fikirleri, daha sonra da görüleceği gibi, John Gribbin'in dediği şekilde: "Olayların tesadüf yanları, kuantum mekaniği ve istatistiksel olasılık. Hepsi ayrılmaz bir şekilde birbirleriyle iç içe geçmiştir..." Bugün kuantum mekaniğinin iç içe geçmiş olan temel iddiaları şunlardır:

### 1. Enerji küçük ayrık birimler halinde salınır

Alman fizikçi Max Planck, 1900 yılında madde ile ışıınım arasındaki dengeyi incelerken, aradaki ilişkinin daha önceden kabul edildiği gibi sürekli bir şekilde değil de, birbirinden ayrı şoklar-birimler şeklinde yayıldığını varsaydı. Bu ayrık birimler maddeden ışıınıma ya da ışıınımdan maddeye dönüşüyordu. Bu dengeyi elde etmek için,  $h$  Planck katsayısını geliştirerek  $E=h\nu$  ifadesini ortaya koydu. Burada,  $E$ : enerji,  $\lambda$ : dalga boyunu ifade eder.

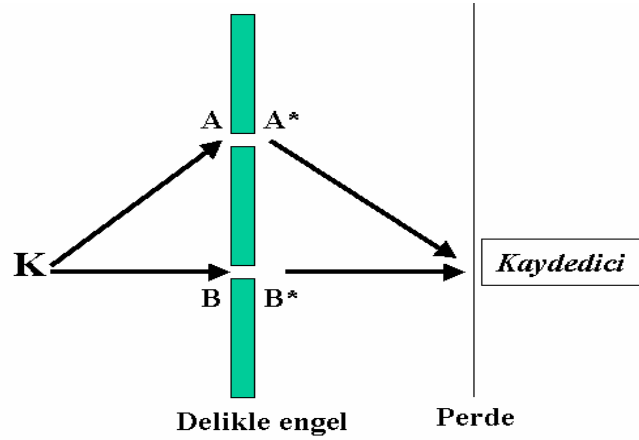
Daha sonra Einstein şu sonuca vardı: Işıınım sadece belli kesikli miktarlarda yayımlanır ve her zaman böyle kesikli paketler-ışık kuantları halinde bulunurlar. Böylece ışık kuantları momentumu  $p=h\nu/c=h/\lambda$  şeklinde ifade edilir. Buradan, hareketli bir cismin çarpma ile meydana getirdiği mekanik etki momentumu ile aynı anlama geldiği için, ışık kuantının mekanik etkisi=momentumu, dalga boyu küçüldükçe artar şeklinde bir yoruma ulaşılır.

## 2.Parçacık–dalga ikiliği ve maddeye eşlik eden dalga

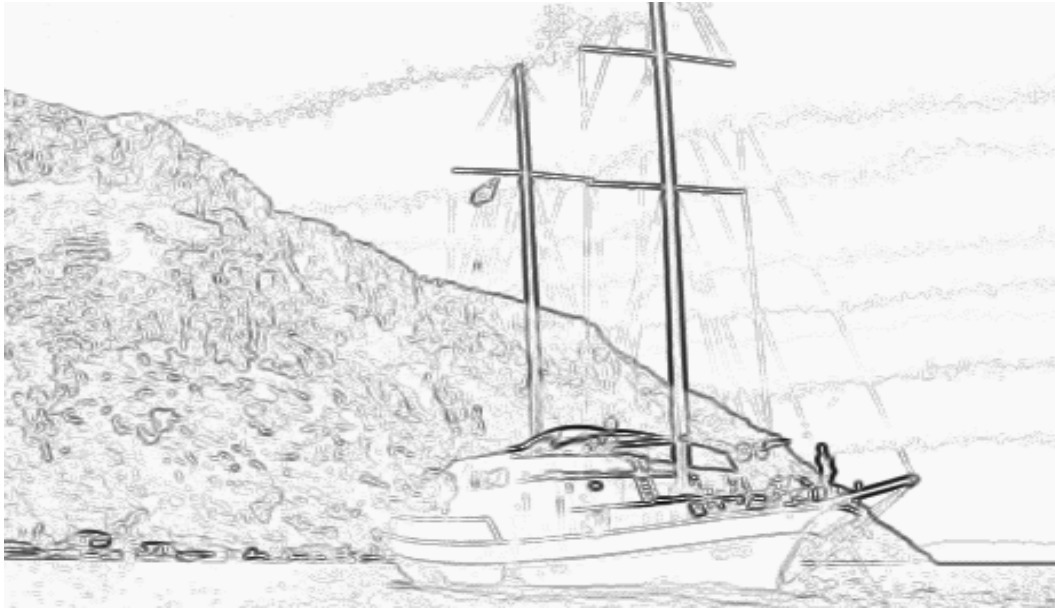
Önceleri ışığın (fotonun) tanecik olduğu kabul edilmesine rağmen, daha sonra Young'ın çift yarıklı deneyleriyle dalga gibi davrandıkları da ortaya konuldu. Bu sadece fotonlar için değil, elektronlar, herhangi bir tür parçacıklar ve bütün halinde atomlar içinde geçerlidir. Her parçacık uygun koşullarda tek başına da bir dalga olarak davranabilir.

KM'e göre parçacık dalgaya, dalga ise parçacığa benzer. Bir parçacığın farklı yollar arasındaki girişim, maksimum ve minimum değerleri ifade edilmiş bir olasılık dağılımı verir ve burada bir parçacığın başka bir yerde değil de belli bir konumda saptanması daha olasıdır. Yani, duruma göre ya dalga ya da parçacık olarak davranırlar.

Bu en açık şekli ile Young deneyi ile ortaya konulur. Young deneyinde foton salan (elektron da olabilir) bir kaynağın karşısına üzerinde aralıkları bir kaç milimetre olan iki küçük delikli (A ve B) düzeneden oluşur. Bir deliği kapattığımızda perdenin arkasına kaynaktan çıkan fotonlar ulaşır. Örneğin, 100 foton kaynaktan salınmışsa kaydedicide %1'inin ulaştığı tespit edilebilir. Eğer her iki deliği de açık bırakırsak, perdenin arkasından ilginç olarak "girişim" oluşur. Üstelik, perde belirli bir uzaklıktaysa beklenen olan %2'den daha fazla (%4 gibi) foton geçişini tespit ederiz. Normalde ikinci deliği açmanın, kaydediciye erişen foton yüzdesini her zaman arttıracığı düşünülür. Gerçekte bu olmaz. Fotonların da "ya bu delikten ya da diğerinden" gittiğini söylemek de yanlıştır. Bir delikten geçme genliği olan fotonun diğer delikten de gitme genliği vardır. Ancak, tam delikler üzerine, perdeye ulaşmadan fotonların varlığını gösteren kaydediciler koyacak olursak (A\* ve B\*), her iki delik açıkken fotonun hangi delikten geçtiğini tespit edebiliriz. Bir foton gönderildiğinde ya birinci delik ya da ikinci delikten geçecektir. Çünkü foton ikiye bölünmez. Ya birinden ya da diğerinden geçer. Bu durumda perde üzerinde bulunan kaydedici de birinci ve ikinci delikten geçen fotonların toplam yüzdesini gösterir (%1+%1). Perdedeki girişim de deliklere kaydediciler konulduğunda yok olur. Burada olan özetle, ışığın nereden geçtiğini gösteren kaydediciler koyduğumuzda girişim yok oluyor, ışığın nereden geçtiğini tespit edecek aygıtlarımız yoksa girişim ortaya çıkar. Başka bir deyişle, foton bazen parçacık olarak bazen de dalga olarak davranarak kendisini girişim ile göstermektedir.



Hem dalga hem de parçacık davranış özellikleri, ölçümün tipiyle yakın ilişkilidir. Yani, elektronun içsel özellikleri hakkında konuşmak çok anlamlı değildir. Bunun yerine, elektron ve ölçüm cihazının özellikleri bir arada düşünülmelidir. Elektronun parçacık-dalgası buna göre kendini gösteriyor çünkü. Buna kuantum mekaniksel davranış denir. Bu çekirdeği saran bir sis perdesine veya bulut tabaksına benzemeyen, daha önce gördüğümüz hiç bir şeye benzemeyen bir yapıdır. Richard Feynman "Bu nasıl olabilir diye sormayın, bunun neden böyle olduğunu hiç kimse bilmiyor" demektedir.



Her parçacığa bir Broglie dalgası eşlik eder.  $E=h\lambda=mc^2$  formülünden yola çıkarak eşlik eden dalga,  $\lambda=h/mc$  ile hesaplanabilir ve Compton dalga boyu olarak adlandırılır. Burada, E: enerji, h: Planck sabiti, m:kütle, c: ışığın hızı,  $\lambda$ : eşlik eden dalga boyunu temsil eder. Örneğin,

ışığının %1 hızıyla hareket eden ( $1.0 \times 10^6$  m/san) elektrona  $7.3 \times 10^{-10}$  metre ya da  $7 \text{Å}$  genişliğinde bir dalga eşlik eder. Açık olarak hesaplayacak olursak:

$$\lambda = 6.6 \times 10^{-34} \text{ Js} / (9.1 \times 10^{-31} \text{ kg})(1.0 \times 10^6 \text{ m/s}) = 7.3 \times 10^{-10} \text{ m} \cong 7 \text{ Angstrom}$$

Makroskobik cisimlerin momentumları çok daha büyük olduklarından Louis de Broglie dalgasının dalga boyu çok küçüktür. Bu nedenle makroskobik cisimlerin dalga özellikleri atom altı partiküllerde olduğu gibi gözlenemez. Bir parçacığın ya da cismin enerjisi (enerji eşittir kütle ve  $E=h\lambda=mc^2$ ) ne kadar yüksekse, dalganın uzunluğu da o kadar kısadır. Biraz daha kütleli büyütecek olursak, 75 kg ağırlığında olan insanı göz önüne alacak olursak ve bu kişi 5 metre/saniye hızında koşarsa  $1.7 \times 10^{-36}$  metre genişliğinde bir dalga gövdesine eşlik eder. İnsan boyutu için;

$$\lambda = 6.6 \times 10^{-34} \text{ Js} / (75 \text{ kg})(5.0 \text{ m/s}) = 1.7 \times 10^{-36} \text{ m}$$
 eşlik eden dalga boyu olarak elde edilir.

Elektronun dalga özelliği atom düzeyinde çok büyük olmasına karşın, makroskobik cisimlerin dalga yapısı çok küçük olduğundan gözlenemez.

### Schrödinger'in Dalga Denklemi

Ervin Schrödinger, Broglie'nin maddenin eşlik eden dalga ve dalga davranışı esas alarak farklı fiziksel problemlere matematiksel olarak adapte etti. Klasik mekaniğe göre, bir parçacığın kütlesi  $m_e$  ve  $x, y, z$  yerlerinde potansiyel enerjisi  $V(x, y, z)$  ise, potansiyel enerjileriyle ve kinetik enerjileri ( $p^2/2m_e$ ) toplamı parçacığın tüm enerjisini verir:  $V(x, y, z) + p^2/2m_e = E_{\text{toplam}}$ .

Ardından Schrödinger, parçacık ya da parçacıklar sisteminin farklı yerlerde ne dereceye kadar bulunduğunu gösteren dalga fonksiyonu eşitliğini ortaya koydu. Sonradan dalga fonksiyonunu ekleyerek farklı uzaysal yerleşimler için bir dalga fonksiyonu  $\psi(x, y, z)$  oluşturdu. Böylece Schrödinger'in zamana bağımlı diferansiyel denklemi 1926'da doğdu. Bu denklem öyle yazılmıştır ki, maddesel cismin hareketini tanımlayan fonksiyon bir dalganın bütün özelliklerini taşır. Steven Weinberg'in deyişiyle "Bir yandan, herhangi bir sistemin dalga işlevinin zaman içinde nasıl değiştiğini determinist bir yaklaşımla tam olarak betimleyen Schrödinger denklemi, öte yandan, tümüyle bağımsız bir şekilde bizim ölçülerimize göre oluşmuş, kabul edilebilir farklı sonuçların olasılıklarını hesaplamak için dalga işlevinin nasıl kullanılacağını bize bildiren bir ilkeler bütünü" ortaya çıktı. Daha sonra bu denklem KM'inin yaygın kabul edilen formülü oldu.

Bir kuantum sisteminde ölçüm-gözlem yapılmadığı sürece, Schrödinger denklemi geçerlidir. Denklem basit görünüşü ile Dirac parantezlerini de (bra) ve (ket) kullanılarak,  $|\chi\rangle$  gibi içerecek şekilde yazıldığında:

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} |\Psi\rangle = H |\Psi\rangle \text{ şeklinde ifade edilebilir.}$$

Burada,  $|\psi\rangle$  üzerine işlem yapan  $\partial/\partial t$  (zamana göre kısmi türev)  $|\psi\rangle$ 'nin zamanla değişim miktarını verir. H, Hamilton fonksiyonudur. Hamilton fonksiyonu, sistemdeki tüm fiziksel nesnelerin hepsinin konum koordinatlarını  $q_i$  ve momentum koordinatlarını  $p_i$  cinsinden yazılan toplam enerji ifadesidir. Bu denklem çizgiseldir. Yani,  $|\psi\rangle$  ve  $|\phi\rangle$  denklemi sağlıyorsa,  $|\psi\rangle+|\phi\rangle$ 'de sağlar. İki olası alternatif durumun çizgisel birleştirimi, U (Unitary) ile ayrıştırılmaz. Sonuçta bir seçeneğin ayakta kalması için, ayrı bir yöntem olan R'ye gereksinim vardır.

Denklemin daha karmaşık bir diğer gösterimi ise;

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi(q;t) = -\frac{\hbar^2 \partial^2}{2M \partial q^2} \psi(q;t) + V(q) \psi(q;t) \text{ şeklindedir.}$$

Non-relativistik zamana bağımlı Schrödinger denkleminde,  $\Delta$  (delta) operatörü bir boyutta  $\Delta = \partial/\partial c$  ve üç boyutlu uzayda  $\Delta = (\partial/\partial c) + (\partial/\partial y) + (\partial/\partial z)$  serbest

parçacıklar için;  $\nabla^2 \psi - \frac{4pm}{ih} \left(\frac{\partial \psi}{\partial t}\right) - \frac{8p^2 m U}{h^2} \psi = f$  şeklinde yazılabilir. Atoma bağlı

elektronlar veya başka bağımlı parçacıklar içinse;  $\nabla^2 \psi + \frac{8p^2 m}{h^2} (E - U) \psi = f$  ile ifade edilir.

Burada,  $\nabla^2$  Laplace operatörü olarak tanımlanır (veya  $\Delta$ ) ve bu  $\nabla^2 = (\partial^2/\partial x^2) + (\partial^2/\partial y^2) + (\partial^2/\partial z^2)$  durumuna eşittir.  $V(x,y,z)$ 'deki, M kütleli parçacı(klara)ğa uygulanan kuvvetlerin yarattığı potansiyel enerji (U ya da V),  $\psi$  zaman ve üç boyutlu (x,y,z) koordinat fonksiyonu,  $i = \sqrt{-1}$ ,  $\hbar$  ise Planck sabiti ( $6.626076 \cdot 10^{-34}$  Joule saniye) olan  $\hbar$ 'in  $2\pi$ 'e bölünmesinden elde edilir. Bu formülle fizikçiler atom dünyasının akıl almaz uyumlu tasvirini geliştirilmiştir ve sadece özel problemlere uygulanan bir denklem değildir.

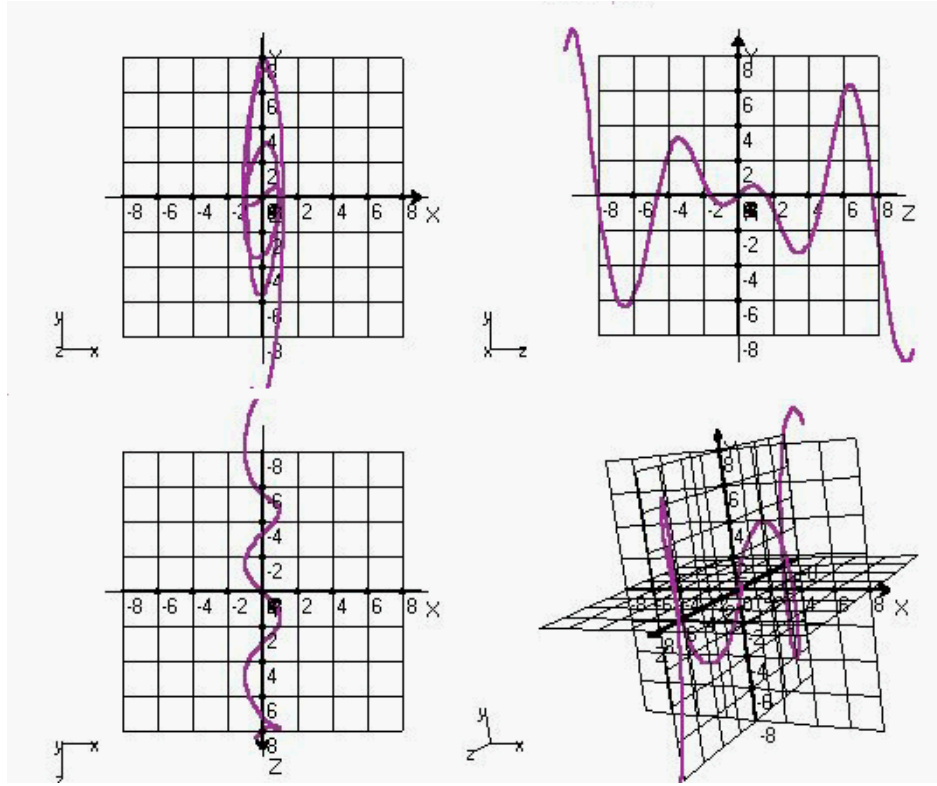
$\psi$ -psi dalga fonksiyonu olasılık genliğidir. Genlik, dalgalanmalı olaylar dizininden doğan



bir kavramdır. Dalga fonksiyonu gözlemlenemez.  $|\psi\rangle = |\psi\rangle^*$  karesinin bir olasılığa denk olduğu anlamına gelir. Bu Newton denklemleri gibi zaman göre tersinirdir.  $\psi$ , herhangi bir  $t_0$  anında bilindiği ve sınır koşulları verildiği zaman, geçmişin olduğu gibi geleceğin herhangi bir anında da,  $\psi$ 'yi hesaplayabiliriz. Olasılığın tanımı, iki zaman (geçmiş ve gelecek) arasında karşılaşma olarak da açıklanabilir. Bu klasik mekaniğin determinist anlayışıyla aynıdır. Yani, geçmiş ve gelecek arasında hiç bir fark gözetmez. Ancak burada yörünge ile değil dalga fonksiyonu ile ilgilidir. Schrödinger denkleminin biçimsel çözümü,  $U_{(t)} = \exp(-iHt)$  ile  $\psi_{(t)} = U_{(t)} \psi_{(0)}$  olur. Gelecek ve geçmiş aynı rolü oynar, çünkü  $t_1$  ve  $t_2$ 'nin gösterdiği ne olursa olsun  $U_{(t_1+t_2)} = U_{(t_1)}U_{(t_2)}$  dir.

KM temel varsayımı her dinamik problemin tamamen olasılık genlikleri terimleriyle çözülebilmesi gerektiğidir. Bununla birlikte, kuantum durumunda maddeye özelliklerinin verilmesi ek bir işlemle yapılır: genliklerden olasılıklara geçilir. KM bizi,  $\psi$  dalga fonksiyonuyla betimlenen *potansiyaliteden*, ölçtüğümüz *aktüaliteye* geçişi kabul etmeye zorlar. Bu geçişte de gözlem sorumlu tutulur.

Klasik mekanikte yörünge denkleminde farklı olarak Schrödinger denklemi, bir dalga fonksiyonudur. Herhangi bir x-konumu için, dalga fonksiyonu  $\psi(x)$  değerine sahiptir ve parçacığın x konumunda bulunma olasılığının genliğidir. İzlediği yol x ekseninin yakın komşuluğu içinde dolanarak uzayda bir eğriyi tanımlar.  $\psi$  ile genlik arasındaki ilişki tamamen şekilseldir. Eğer bir dalga fonksiyonunun fiziksel uzayda herhangi bir doğru boyunca davranışını incelemek istersek, x-eksenini şekildeki gibi üç boyutlu düzlemde tanımlamamız gerekir.



3-boyutlu uzayda bir parçacığın oluşturduğu  $\psi$ -eğrisi (sağ altta). Bir parçacık üç boyutlu uzayda farklı hareket yapar. x,y,z ekseninde yaptığı hareketlerin ayrı ayrı tek bir uzaysal noktada ortak temsiliyetini  $\psi$ -eğrisi oluşturur.

Çok parçacık içeren sistemler için bu tanımlama çok daha karmaşıktır. Ayrı ayrı parçacıkların, ayrı ayrı olası konumlarının tümünün birleştirilmesi gerekir. Örneğin, iki parçacıktan oluşan bir sistem düşünelim. İki parçacıktan biri A noktasında, diğeri B noktasında bulunabilir. Başka bir durumda birincinin B'de ikincinin A'da ve ya her ikisi de A'da bulunabilir. İki parçacık için her bir çift konum ile ilgili bir genliğe ihtiyaç duyarız. Ve  $10^2=100$  farklı konum, 3 parçacık için 1000 olabilir. Bu nedenle çok parçacık içeren sistemler aşırı karmaşık hesaplar gerektirir.

### 3. Belirsizlik

Einstein'ın kuantum kuramında kusur olarak kabul ettiği başlıca unsurlardan biridir. Çünkü Einstein'a göre "Tanrı zar atmaz" ve olayları belirsizliklere bırakmazdı. Bu ilke ilk bakışta doğanın belirlenimciliği kaldırdığını göstermektedir. Oysa yakından bakılırsa bunun giderek doğanın mikro belirlenimciliğini ortaya koyan en temel unsur olduğu görülür.

Belirsizlik iki şekilde olabilir. Ya cismin sayısının çokluğundan kaynaklanan belirsizlik ya

da tek bir cisim olmasına rağmen belirsizlik söz konusudur.

Çokluktan kaynaklanan belirsizlik, aralarındaki etkileşimlerin çokluğundan dolayı önceden bilinmeyecek tarzda değişik davranışlar (koordinatlar) sergilemelerinden kaynaklanır. Bir koordinatın "kendi kaypaklığından" değil de sistemin içinde kendisini etkileyen diğer elemanların çokluğu yüzünden bir an bir değerinde karar kılınmaz. Buradaki belirsizlik öznel ve kısmen sistem hakkındaki bizim *bilgisizliğimizden* kaynaklanır. Cismin sistemde çok olmasından kaynaklanan belirsizlik sokakta yürüyen insanlara benzetilebilir. Çarpışan arabaların olduğu bir eğlence parkında, pistte 10-15 araba varsa, arabaların hareketlerini önceden tam olarak tespit edemeyiz. Çevredeki çarpmalarla birlikte, kendilerine yeni konumlar ve yönler elde edecekler ve sürücülerinin bilgileri dahilinde de yönlendirmeleri daha da değişecektir. Bu durumda istatistiki yöntemlerden yararlanarak bir yaklaşık sonuca ulaşılabılır. Bir tek cisimden kaynaklanan belirsizlik ise, kendi dışındaki etkiler nedeniyle değil de, kendi içinden, kendi doğasından kaynaklanır. Objenin içindeki örgütlenişi, bilgi edinen öznenin ulaşamayacağı bir yapıdadır. Öznellik burada sona erer ve objektiflik devreye girer. Artık bu durumda sadece olasılıklar söz konusu olur.

Buna göre, KM'de bir bireysel parçacık, özellikle belirlenmiş bir yerde ya da anda değil, birden bire ve önceden bilinmeksizin var olabilecektir. Bununla birlikte, onun davranışı, başıboş iken, yine de olasılık yasalarına tabidir. Böyle bir olasılık, belirli bir olayın gerçekleşme eğilimi anlamına gelir. Olasılık, imkan ile gerçeklik arasında orta yerde bulunan garip türden bir realiteye gönderme yapar.

Fiziksel olarak, bir parçacığın aynı zamanda hem momentum hem de pozisyonun her ikisini bilmek imkansızdır. Yani, parçacığın davranışını betimleyen belli özel değişkenlerin birinin belli olmasının artışı diğerinin belirsizliğini artırır. Werner Heisenberg'in ifadesiyle parçacığın konumunun belirsizliği "x" ile ve momentumu (p ile sembolize edilen momentum=kütle ile sahip olduğu hızın çarpımı) "p, momentum" birbirlerine  $\Delta_x \Delta_p \geq \hbar/2$  ilişkisiyle bağlantılıdır. İkisini birden istediğimiz kesinlikte aynı anda belirleyemeyiz. Bu durumda "koordinatlarla gösterim" ya da momentumla gösterim" arasında bir seçim yapmak gerekecektir. Kuantum nesnesinin hiç bir tanımı, bir nesneye belirli bir momentum ve bir konum vermeyi sağlamaz.

Üzerinde ince bir yarık bulunan bir levhadan geçen elektronun (ya da fotonun) durumuna bakalım. Yola çıkan bir elektron düşünelim. Eğer bu elektronun hızını  $u$  ile gösterirsek momentumu  $p=m_e u$  ile gösterilebilir.  $P_x$ ,  $x$  yönündeki bir hareketin momentumu ise, o yönde  $P_x$ 'deki belirsizlik miktarı:  $\Delta p_x = p \cdot \sin\theta_0 = p\lambda/b$  kadar olur. Burada  $\lambda$  Broglie formülüne göre elektrona eşlik eden dalga genişliğidir. Dalga genişliği, Planck sabitinin elektronun momentumuna bölünmesiyle  $\lambda = h/m \cdot c$  (elektronun hızı  $c$ , ışık hızıdır) veya diğer bir ifadeyle elde edilen;  $\lambda = h/p$ 'dir. Yarık deneyinde, yarığın genişliği  $b$  kabul edilirse; böylece  $\Delta p_x = h/b$  olarak bulunur. Elektronun yarığın içinden geçtiği kesin bilinmez, sadece elektronun bir yere doğru gittiği bilinir. Elektron yola çıktıktan hemen sonra  $x$  yerindeki belirsizliği  $\Delta x = b/2$  olur. Belirsizliğin alt sınırı  $\Delta x \Delta p_x \geq \hbar/2$ 'dir. Yani, ya birinde ya da diğerinde mutlaka Planck sabiti cinsinden ifade edilen bir belirsizlik vardır. Konum ve momentum belirsizlikleri çarpımı hemen hemen  $h$  sayısına eşittir.

Yani, parçacığın konumunun ve momentumunun belirsizliğinin çarpımı en az Planck değışmezi ile aynı büyüklüktedir.  $x$  konumunu ölçerek ne kadar kesin belirliyorsak,  $p$  momentumunun o oranda belirsiz kalacağını söylemektedir. Kesin  $p$  ölçümü de  $x$  konumunu belirsiz hale getirecektir. Yani, bu konumsal belirsizlikten dolayı parçacık uzayın her köşesinde olabilir hale gelir. Eğer konumu sonsuz duyarlılıkta ölçmüş olsaydık momentum tam olarak belirsiz kalırdı ve tersine momentumu kesin ölçseydik parçacığın konumu tamamen belirsiz olurdu. Bu nedenlerle doğadaki parçacıkların hem konum hem de momentumu bir miktar belirsiz olmak zorundadır. Fiziksel sistem hakkında bilebileceğimiz içinde bulunduğu kararlı durumlardan hangisinde değil, herhangi birinde bulunma olasılıklarıdır.

Roger Penrose, belirsizlikte durum vektörünün indirgenmesinin (R) etkili olduğunu öne sürer. Penrose, kuantum mekaniğinin geleneksel yapısına dahil olan fizikte, bazı kısımların muhtemelen eksik olduğunu düşünmekte ve dalga fonksiyonunun nesnel indirgenmesi, OR (Objectif reduction, nesnel indirgenme) adını verdiği şeyin bu açığı kapatacağını öne sürmektedir. Parçacık herhangi bir nesneyle ilişkiye girmediği sürece  $\psi$  dalga fonksiyonu, momentumu ne zaman ölçersek ölçelim sabit kalır. Ölçümde olasılıklara yer yoktur. Ancak, herhangi bir durumda parçacığın konumunu ölçmeye kalkışırsak, yani klasik düzeye yükseltmek istersek, mutlak değer karelerini almamız gereken bir dizi olasılık genlikleriyle karşılaşırız. Bir

dizi olasılık arasından hangisinin olacağı bilinemez.  $\psi$  dünyanın gerçekliğini tanımlarsa (U) belirleyicidir, kompleks kuantum durumlarını her zaman korur ve süreklidir. R ise durum vektörü çöküşü/indirgenmesidir. Olabilirlik yasağıdır, kuantum toplamları her zaman korunmaz ve açık ve süresizdir.

Belirsizlik ilkesi, Planck sabitinin ( $h$ ) çok küçük değerli olmasından dolayı yalnızca atomik ölçeklerde etkindir. Gram ile ifade edilen makroskobik cisimlerin pozisyonunda tam ölçüm doğruluğu  $10^{-6}$  metredir ve belirsizlik ilkesine göre hızının durumu saniyede yaklaşık  $10^{-25}$  metreden daha iyi ölçülemez. Gözlenmeyen bir atom, aynı anda hiç bir yerde ve her yerdedir. Atom her yerdedir, çünkü dalganın genişliği atomun son görüldüğü yerde en yüksek noktasına erişse de, dalga fonksiyonu bütün boşluğa etkin şekilde yayılır. Bir atomdaki elektron için ise (atomun çapı  $10^{-6}$  metre olduğu düşünülürse) belirsizlik saniyede  $10^6$  metredir. Bunun anlamı, elektron hiç bir yerde ve her yerde olduğudur. Bu da dalga-tanecik ikiliğiyle yakın ilişkilidir.

Einstein'ın de aralarında olduğu bazı kuramcılar parçacıkların yapılarını ileride daha derinlemesine ortaya koyduğumuzda konum ve momentumlarını ölçebileceğimiz düşüncesindeydiler. Ancak ölçebilme düşüncesi önyargıdır. Bu parçacığın belli bir konumda sabit duramayacağı anlamındadır. Birisi ne kadar kesinlikte bilirse, diğerinin ölçümü o oranda daha az kesin olur. Bir elektronun x ya da y noktasında bulunduğunu söylemek yerine bir elektronun durumundan söz edebiliriz. Yani bir elektron x ya da y durumunda bulunmakla kalmaz, aynı zamanda kısmen x ve kısmen y durumunda da bulunabilir. Yani, bir elektron bir çok yerde aynı anda bulunabilir. Sanki bir bulut ya da dalga gibi davranırlar.

#### 4. Yerel olmama, Vudu büyü etkisi ya da EPR Paradoksu

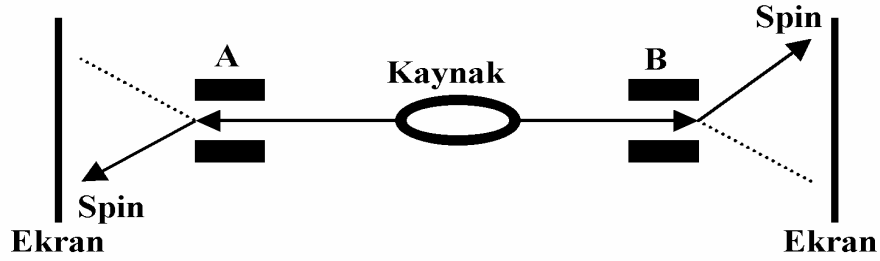
Yerellik ilkesi fiziksel olayların önce yakın çevresini etkilediğini söyler. Yerellik, uzay ve zaman içinde bir noktada oluşan herhangi bir olayın yalnızca olayın yakın çevresindeki etkilere bağlı olduğu durumları anlatır. Kuantum mekaniğinde uzaktaki etkileşimler ortaya çıkar. Fizikte karşılaşılan hemen bütün konular yerellik ilkesine uygundur. Kuantum olayları yerel değildir. Adeta Nick Herbert'in deyimiyle *Voodoo* (Vudu) büyü gibi her ölçüm-gözlem uzak ilişki içerir. Yani, bir kişiye büyü yapmak için, geçmişte o kişiye ait bir parça üzerinde büyü yaparak kişiyi etkileyebilirsiniz hala onunla bağlantısı ne kadar uzakta olursa olsun vardır!.

Ütopycacı Samuel Butler "Erewhon" sözcüğü ile hem "No- where/hiç bir yerde" hem de "Now-here/şimdi burada" ifadelerine gönderme yaparak her iki ifadeyi tek kelime ile ifade eder. Yerel olmama bir bakıma "Erewhon" dur.

Kuantum dolaşıklığı (entanglement) olarak adlandırılan bir etki ile nesnelere birbirinden ayrı, ama yine de iletişim halinde buldukları bir ara duruma karşılık gelir. Klasik fizikte buna benzer bir durum söz konusu değildir. Yaptığımız bir gözlem-ölçüm bununla ilişkili olabilecek diğerini uzaktan bağımsız olarak etkiler. Genelde kuantum düzeyi küçük ölçekli parçacıkların düzeyi olarak düşünülürse de küçük kavramı aslında fiziksel bir boyutu bildirmez. Kuantum sonuçları metrelerce hatta ışık yılları boyunca etki eder. Birbirinden uzak nesnelere etkileşimde bulunabildikleri düşüncesi, çok daha önceleri klasik fiziğin babası Newton tarafından büyük bir saçmalık olarak değerlendirilmiş ve ciddiye alınmamıştı.

Bu en iyi Einstein-Podolsky-Rosen (EPR) paradoksu deneyi (1935) ile ortaya konur. Bu deney Albert Einstein, Boris Podolski ve Nathan Rosen'ın adlarını taşır. Temel tasarlanış nedeni kuantum kuramının eksik, tamamlanmamış olduğunu göstermek içindir. Einstein, aradaki telepatik ilişkiyi açıklayabilecek, fiziksel bir gerçeğin olması gerektiğine ısrar ediyordu.

Bu deney elektronların spinleri ile yapılabilir. Başlangıçta spini olmayan bir sistemden, spini olacak iki parçacık alınır. Bu alınan parçacıklar (elektron gibi) zıt yönlerde uzaklaşır. Kuantum kuramı, iki parçacığın spin ölçümünün ancak iki değer verebileceğini söyler: yukarı spin ve aşağı spin. Asıl kaynaktaki sistem spinsiz ise, o zaman iki parçacığın spinleri birbirini dengelemelidir. Toplam spinin sıfır olması için biri yukarı ise diğeri mutlaka aşağı spinli olmalıdır. Parçacık spinlerine ilişkin bir ölçüm yapılmamışsa, yukarı ve aşağı durumlu spinlerinin superpozisyonu durumunda olurlar. Birinin spinine yönelik bir ölçüm yapılırsa ve spini belirginleşirse (yukarı ya da aşağı) diğerinin de spini ilk ölçülen parçanın spiniyle toplanınca sıfır yapacak şekilde belli olur (dolaşık durum). Bu birbirlerinden ne kadar uzakta olurlarsa olsunlar değişmez. Biri dünyada, diğeri Andromeda galaksisinde.... Fark etmez.

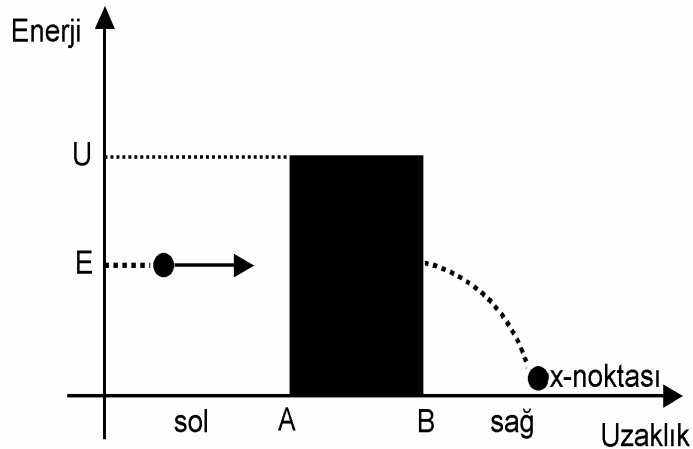


Buna yönelik yapılan itiraz, başlangıçta iki elektronun zıt yönde salındığı anda zaten spinlerinin belli olduğu ve Andromeda galaksisine gitse bile ölçtüğün yola çıkmadan elektronun üstlendiği spin olduğu. Yani, giderken zaten spin bilgilerini üzerlerinde taşıyorlar ya da tam ayrılma anında sonuç zaten oluşmuştur. Belirleyici an iki parçacığın her iki yöne gitmeye başladıkları andır. Buna sistemin “seperasyonu/ayrılması-bölünmesi” denir. Seperasyon iki olasılıktan birinin gerçekleşmesine yol açar. KM’de ise, iki sistemin birbirinden ayrılması anlarındaki seperasyon, ancak ölçme anında gerçekleşir. KM’e göre parçacıklardan biri Andromeda’ya yollanmış olsa bile, bir ölçme işlemi yapılmadığı sürece, sistem gerçekte bölünmüş değildir. Gözlemeden önce, sistem üst üste binme durumundadır ve gözlem yapıldığında sistem nihai bir duruma indirgenir. Buna göre, çıkışta spinler belirsizdir ve ışıktan daha hızlı bir bilgi taşıyıcıyla (!), bir ölçüm yapıldığında diğerine bilgi vererek, kendi spinini *tamlayan* olarak seçer. Bu durum zaman ve mekandan, uzaklıktan tamamen bağımsızdır (yerel değildir).

Einstein ışıktan hızlı giden bir haberleşme aracısını kabul etmeyip, kuantum kuramının “tam” olmadığını ve yeni özellik içerecek şekilde genişletilmesi gerektiğini öne sürdü. Adını “tekinsiz uzaktan aksiyon” olarak değiştirdi. Gereken bu değişkenlere de “gizli değişkenler kuramı” dendi. Daha sonraki dönemlerde David Bohm gibi inatçılarla gizli değişkenler kuramı daha belirgin bir üstün güven kazandıysa da John Bell (1964, Bell Eşitsizliği, 20 yıl sonra ancak deneysel olarak doğrulanabildi) ve Alain Aspect (1982) kesin matematiksel ifadelerle (gizli değişkenler kuramı alternatif olmayı sürdürdüyse de) bu düşüncüyü matematiksel ifadelerle sınırlamayıp, deneylerle de ortaya koydular. Yani, tüm nesne ve fenomenler evrensel biçimde birbirleriyle ilişkilidirler ve atomsal gerçeğin temel bir özelliğidir. Matematiksel kuramın farklı yorumlanmış biçimine bağlı değildir. Dolayısıyla gizli değişken diye bir beklenti olamayacağını göstermiş oldular.

## 5. Tünelleme

Tünelleme olayı klasik fiziğin bir parçası değildir. KM'inin çok önemli bir parçasını oluşturur. Klasik fiziğe göre herhangi bir cismin kinetik enerjisi negatif olamaz. Dolayısıyla duvara atılan bir top duvarı delmeden diğer tarafa geçemez (Şelil) ve solda sonsuza kadar kalır. Duvarın enerji engelini aşabilmek (AB engelini, siyah alan) için klasik fiziğe göre duvarı delmeden geçebilmek için negatif enerjiye sahip olmalıdır. Klasik mekanikte, E enerjili bir parçacık, bir boyutlu bir enerji potansiyel duvarının (U potansiyel engelini maksimum yüksekliği) içinde bulunduğu zaman, eğer  $E < U$  ise parçacık daima orada kalır. Eğer  $E > U$  ise, parçacık bariyeri aşip dışarı kaçabilir. Bu klasik fiziğin bakış açısıdır. Fakat, KM'inin bakışı bu kadar basit değildir. KM'e göre ise, bir enerji engelini aşmak için yeterli enerjisi olmayan (yani  $E < U$  durumunda) bir kuantum parçacığı bu engeli aşma olasılığına sahiptir. Yani, engelin diğer (ağda) yanındaki x-konumunda bulunma olasılığı sıfır değildir ve bunu yapabilir.



Bu sağa geçiş dalgı mekaniği ile açıklanır:  $\frac{d^2y}{dx^2} + \frac{8p^2m}{h^2}(E - U)y = 0$

Genel çözümlü bunun  $y = A \left[ \left( \frac{2pix}{h} \right) \sqrt{(2m(E-U))} \right]$  olur. A ifadesi (grafikte x=0 olarak A)

sabittir. x engeli uzaklık, m parçacığın kütlesi ve i ise  $\sqrt{-1}$  'dir. Eğer  $E < U$  ise çözümlü

$y = A \left[ -\left( \frac{2px}{h} \right) \sqrt{(2m(U-E))} \right]$  olur. Bu durumda engel kalın ya da ince olsun fark etmez.

Parçacık soldan sağa, x-noktasına geçmeyi başarır.

Radyoaktif uranyum atomun çekirdeğinden bozunarak bir alfa parçacığı (bir helyum



atomu çekirdeği olarak da adlandırılabilir) salınması bu yolla olur. Çekirdeğin efendisi olan ve atomun politikasını belirleyen protonların arasındaki itim çok güçlüdür. En iyi zamanlarda bile zar zor bir istikrar sürdürürler. Alfa parçacığı, birbirine kenetlenmiş iki proton ve iki nötrondan oluşur. İki proton içerdiğinden protonların pozitif yükü tarafından itilir. Kaçmaya çalışır ama çekirdeğin çevresindeki enerji duvarı bu kaçıışı engeller. Alfa parçacığı uğraşa uğraşa, bir gün gelir (çekirdeğin bozunma yarı ömrüyle ilişkili olarak, engeli tünelleyerek geçilebilir. Bu olayın gerçekleşme olasılığı, tünelin boyu ve dağın yüksekliğine bağlıdır. Ancak, ne zaman olacağı bilinmez. Binlerce yılda veya her an. Tamamen olasılık dahilindedir ve hangi protonların da bu tünellemeye gireceği bilinmez. Bunu radyoaktif maddelerin bir kısmının çekirdek bozunmasının saniyelerle olması, bir kısmının ise milyon yılda bir bozunmasıyla ilişkilendirebiliriz. Çünkü, radyoaktif atomlarda, çekirdek çevresinde tünelleme için gereken mesafe uzunlukları veya dağın yükseklikleri (enerji) farklıdır.

#### 6. "Hiç bir şey" olan madde ve "boş olmayan" boşluk

Muhiddin Arabi, *Füsüs ül Hikem*'inde yokluk üzerine şöyle der:

*"Yokluk kavramı zihinde meydana gelen bir karanlık manâ bütünüdür ve nurani manâ bütünü olan vücûdun zıddı ve karşılığıdır. Vücûdu, "ademül-adem" (yokluğun yokluğu) diye tarif ettiğimiz gibi, yokluğu da "ademül- vücûd" (varlığın yokluğu) diye tarif ederiz. Yokluk evveli ve sonu olmayan karanlıktır ki, ondan ezelen ve ebeden bir şey çıkmaz ve öyle bir evveli ve sonu olmayan sükûnettir ki, ondan ezelen ve ebeden bir hareket meydana gelmez. Vücûd sonsuz, sınırsız olup bir sınır ile sınırlanmadığı için, yokluğun gerçekleşebileceği bir sâha mevcûd değildir; nitekim yokluk mutlak surette varlığı olmayan şeydir. Vücûd dâimâ tek olup, kendi üzerinde değişikliğe uğramaksızın ve başkalaşmaksızın devamlıdır. Ve yokluk dahi böylece yokluğu üzerinde sâbittir. Vücûd aslâ yok olmaz ve var olan yok olmaz ve yok olan dahi mevcûd olmaz. Zîrâ çünkü kalbe gelen hakikatler olanaksızdır. İmdi "vücûd" gerçek olandır ve "yokluk" bâtıldır."*

Etrafımızı çeviren ağaçlar, güller, yapraklar, gezegenler, galaksiler ve masalar hiç şüphe yok ki katı gerçekler ve maddeseldirler. Ancak, bütün nesnelere oluşturan atomların

gerçekliğinden bahsetmek zordur. Klasik fizikte elle tutulan atomlar artık "hiçbir şey" haline gelmişlerdir. KM'e göre parçacık kavramı klasik mekanikteki kadar kesin değildir. Parçacıklar, enerjiyi ayrı paketler halinde taşırlar. Parçacıklar sürekli "yaratılır" ve "yok edilir". Bundan dolayı, çok geçici bir varoluşa sahiptirler. Uzun süreli bir var oluşa sahip gerçek parçacıklar kütle, enerji, momentum değerleri arasında katı ilişkilere sahiptirler. Bunun sonucu olarak da bir parçacıkla etkileşime giren parçacıklar her an değişir. Enerjileri kuantum dalgalanmalarıdır.

Einstein'ın yerçekimsel alan kuramı ve kuantum alan kuramı, parçacık ve onu çevreleyen uzay ayrımı ortadan kalkmıştır. Maddesel nesnelere, kendi çevrelerindeki uzayın yapısını etkilerken, çevre de maddesel uzayı etkiler. Uzayın yapısını belirleyen parçacıklar, yalıtılmış varlıklar değil, uzayın her yerinde bulunan sürekli bir alanın bölgesel yoğunlaşmaları olarak ele alınmaktadır. Her parçacık aynı zamanda bir alana sahiptir. Foton elektromanyetik alana, elektron ise elektron (Dirac) alanına aittir.

Gerçek boşluk, ya da vakum durumunda bile içi boş değildir. Ne kadar maddeden yoksun olursa olsun, gerçekten tam olarak boş değildir. Kuantum boşluğu daha çok, sürekli ortaya çıkan ve ortadan kaybolan bir parçacıklar denizine benzetilebilir. Bunlar sanal parçacıklardır. Herhangi bir gözlem eylemi bunları gerçek parçacıklar haline dönüştürür. Enerji, bu parçacıkları yaratmak için boşluktan "ödünç alınır" ve hemen hemen aynı anda geri verilir. Yaratılan parçacıklar zıtları ile birlikte ortaya çıkarlar ve bu çiftler sürekli olarak birbirlerini yok ederler. Yani vakum dinamik ve "canlı bir boşluk" tur.

Ayakkabı bağı felsefesini (Bootstrap) ortaya atan **Geoffrey Chew'e** göre; doğa maddenin temel yapı taşları gibi temel birimlere indirgenemez. Nesnelere karşılıklı olarak tutarlı ilişkileri sayesinde ayakta dururlar ve fiziğin tamamının, bileşenlerinin birbiriyle ve kendi kendileriyle tutarlı olmaları gereğinden çıkarılması gerekir. Bu bağları oluşturan parçaların hiç birisi temel oluşturamaz. Hepsi diğer bölümlerin özelliklerini taşırlar. Chew'e göre, **ayak bağı teorisi** "kuantum teorisinin temel ilkelerini, makro dünyadaki zaman-mekan anlayışımızı ve hatta insan bilinci anlayışımızı içerir". Bu teorisinin tarihsel kökleri, Budizm ve Leibniz'in dünyayı oluşturan monatlarına kadar uzanır.

Eğer katı gerçeklik, gözlem/ölçüm yapılmadığında yoksa veya ortaya çıkmıyorsa, gözlemler arasında hiç bir şey gerçek değildir. Matematiksel betimlemeye göre, dünya

gözlemler arasında olasılık dalgaları olarak vardır. Gözlenene kadar da o şekildedir. Gözlenince olasılık dalgalarından oluşan bu yapı bir çok olasılıktan birine nesnelleşir yani "var olur". Gözleyen kişi gözlemi bıraktığında ise çözülerek olasılık dalgaları haline döner.

## 7.Olasılık

Belirlenimcilik ya da determinizm, gerek doğa olayları gerekse insana ilişkin olguların, kendilerinden gelen olgular ve olaylar nedeniyle meydana geldiğini ileri sürer. Bu terim ilk olarak, Kant tarafından kullanılmıştır. Kant'ın ortaya koyduğu bu terim ona göre; "öznenin, kendi edimiyle özgürlük içinde ilişkisi"ydi. Modern anlamıyla kullanılışının ortaya çıkışı 19.yy'da özellikle Claude Bernard'in etkisiyle (1865) gerçekleşti. Başlangıçta, bilimin açıkça ortaya koyduğu nedensel belirlenimler topluluğuna dikkat çekmiş ve "öngörüye" yakın bir anlamda kullanılmıştı. Zamanla belirlenimcilik kadercilikle karıştırıldı. Şimdinin bilgisi, geleceği kısmen bilme açısından bir öngörü yeterliliği sağlamasına rağmen evrenin sistemleştirilmiş bilgisine körü körüne inanmayı gerekli kılmaz. Belirlenimcilik olasılıkları hiç bir zaman dışlamamıştır.

Kuantum mekanik (belki de mekanik tanımı çok uygun değil) teorisi maddenin atom altı yapısının düalist davranış gösterdiğini ortaya koyduktan sonra anlaşıldı ki atom altı "iki karakterli" temel yapılar normal nedensellik ilkelerine uymuyordu. "Sadece ortaya çıkma eğilimleri, olasılıkları veya genlikleri" vardı. Doğa, yalnızca olasılıkları hesaplamamıza izin veriyordu. Olasılık fonksiyonunun kendisi, olayların zaman boyunca gidişini ifade etmez, olayların meydana gelme eğilimini, olayın olabilme derecesini, ya da olay hakkında bilgi derecemizi yansıtır. Elde edilen değer oldukça rastlantısal ve öngörülemez gibidir. Tıpkı sigorta şirketleri ya da kumar oynayanların kullandıkları olasılık yasalarındaki gibi. Ancak, yeterli sayıda, fazla ölçüm yapıldığında sonuç doğru olarak öngörülebilir. Yani, Kuantum dünyası, istatistik olasılık yasaları dahilinde davranır. Einstein buna şiddetle karşı çıktıysa da çok uzun dayanamadı. Kuantum dünyasının "belirsizlik" dünyasından da öte "olasılıklar" dünyası olduğu ortaya kondu. Ancak, David Bohm'un ifadesiyle, aynı fizik "birbirinden çok uzak şeylerin sebep-sonuç zinciri olmaksızın birbirine bağlandığını da ortaya koymuştu". Bu parçacıkların hareketi doğal olarak rastlantısaldır ve üzerlerinde beklenmeyen etkiler vardır.

*Hugh Everett'in* çoklu dünya/zihin yorumu, gözlenmeyen atomun kuantum pozisyonlarının sadece olasılık değil, gerçek olduğunu söyler. Bu ilginç teoride, olasılık

durumlarından her biri farklı evrenlerde gerçek olarak bulunurlar. Everett'e göre, olası her şey dev bir evren içinde küçük olasılık evrenleri olarak bulunur. Olasılık durumlarından her birini gözlemleyen insanda bir çok alt evrende bulunur. Ancak, bu insanların da birbirlerinden haberi olmaz. Bütün olaylar ise bu dünyada gerçekleşir. Bu modelde olasılıktan gerçeğe gözlemcilerle yaratılan gerçeklik geçişleri yoktur.

Ölçüm/gözlem yapılmadan önce dalga fonksiyonu (Schrödinger'in zamana bağlı eşitliğindeki) olan  $\psi$  (yunan alfabesinin 23. harfi-psi), diğer olası durumların bir karışımıdır. Yani, gözlenmemiş parçacık başlangıçta sadece olasılık dalgasıdır. Gözlenebilen herhangi bir şey (enerji, yerleşim, açısal momentum) ölçülebilir. Her gözlem bir dizi durumları içerir. Her durum gözlemin bir sonucunu oluşturabilir. N kadar gözlem olasılığı varsa bunlar  $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_N$  ile ve elde edilebilecek ölçümleri de  $a_1, a_2, \dots, a_n$  ile simgelenir. Ölçüm yapılmadan önce  $a_1=c_1^2$  ve  $a_2=c_2^2$  gibi kompleks sayılardır. Sistemin toplam durumu  $\psi=c_1\phi_1+c_2\phi_2+\dots+c_N\phi_N$  ile ifade edilir. Ölçümle, dalga fonksiyonu olan  $\psi$ , diğer durumların ( $\phi_s$ ) karışımından tek bir alternatif, tek bir sonuca indirgenir ( $a_1, a_2, \dots, a_n$ 'den herhangi biri) ve bu "çökme" ya da dalga fonksiyonunun indirgenmesi" olarak adlandırılır. Çökme,  $\psi$ 'de devamlı olmayan bir değişiktir ve başlangıç durumu olan  $\psi$  kesin olarak bilinse bile sonuç kesin olarak bilinemez.  $\psi$ ,  $\phi_s$ 'lerin herhangi birinin sonucu olabilir. Bu durum klasik fizikte kabul edilen anlayışına terstir. Çünkü; aynı cismin aynı ölçümünün, aynı sonucu vermesi gerekir. Daha büyük sistemlerde de benzer ölçümler yapılabilir ve toplam benzer durum onlarda da  $\psi$ 'dir.

Sistemdeki seçenekler bir tane ise diğerlerinin durumu kesin olarak ölçülebilir. Örneğin,  $\psi=1$  durumunda,  $\psi=\phi_s$ ,  $C_s$  eğer 1 ise diğer bütün  $c$ 'ler 0 olur. Yani, ölçüm yapılmadan önce,  $a_s$ 'ün olasılığı tektir ve diğer durumları elde etme olasılığı sıfırdır. Diğer bir ifadeyle yalnız bu sistemde, sistemin durumu kesin olarak bilinebilir. Yani, ölçüm yapıldıktan sonra da sistemin durumu aynıdır ve ölçüm sistemin durumunu bozmaz.

### **İleri Okumalar**

- Anron Zeilinger.** The quantum centennial. Nature 408, 639 - 641 (2000)
- D.Gjertsen.** Science and Philosophy-Past and Present. Penguin Books. 1989
- George Gamow.** Bay Tompkins'in Serüvenleri. Çev: T.İncesu, Evrim yay 1998;89-90.
- Giovanni Amelino-Camelia.** Quantum theory's last challenge Nature 2000;408, 661 – 664.
- Hawking, R.Penrose.** Uzay ve Zamanın Doğası. Sarmal yayınevi. Ekim 1996. Çev: Umur Dalbelge
- Isabelle Stengers, Ilya Prigogine.** The End of Certainty: Time, Chaos, and the New Laws of Nature. Free Press
- Penrose R.** Büyük, küçük ve insan zihni. Sarmal Yayınevi. 1998;73-74.
- Richard Phillips Feynman.** QED, The Strange Theory of Light and Matter. Princeton Univ Press. 1988
- Robert Gilmore.** Bir Kuantum Fiziği Alegorisi. Alice Kuantum Diyarında. Güncel Yay. 2000
- Walter von Lucadou.** Ruh ve Kaos. Kuramlar ve Modeller Arayışında Parapsikoloji. Çev: V. Atayman. Say Yayınları
- Werner Hisenberg.** Fizik ve Felsefe. Çev: M.Y. Öner. İstanbul 1993
- Wheeler JA.** 100 years of Quantum Mysteries. Scientific American Feb 2001;54-61.
- Wojciech Zurek.** Decoherence and the Transition from Quantum to Classical. Physics Today Ekim 1991.