

# Kuantum Fiziğinin Temel İlkeleri

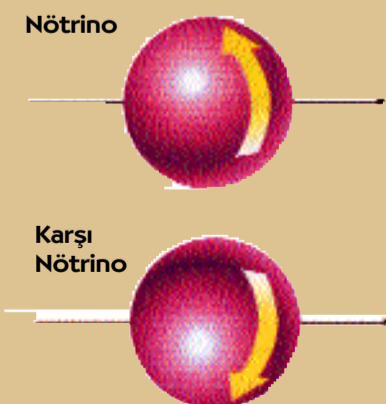
Kuantum fiziği, herhalde ününü olağanüstü derinlikteki öngörülerini ve bunların deneysel başarısından çok, bu buluşların dayandığı temellerin şaşırtıcılığına borçlu. Aslında deneylerin tutarlı biçimde doğrulamasına karşın, atomaltı ölçekte geçerli yasaları, kuralları, ilkeleri, bizim alışık olduğumuz makrodünyanın mantığıyla kavramak hayli güç. Biz, kesinlik aramaya koşullanmışız; oysa kuantum fiziği, evreni yönetenin belirsizlik olduğunu, hatta yaşamımızı bu belirsizliğe borçlu olduğumuzu söylüyor. Biz sanırız ki, bir şey ya vardır ya da yoktur. Oysa Schrödinger'in hayalindeki zavallı kedi biliyor ki, hem yaşarla hem de ölümlerle iç içe. Makro dünyanın "anayasası" genel görelilik kuramına göre hiçbir şeyin hızı, ışık hızını aşamaz. Oysa kuantum kuramına göre "dolanık" parçacıklar evrenin bir ucundan ötekine "telepati" bağı kurabiliyorlar. Yeni oluşan düşüncelere göre, aslında bu mikro ve makro dünyalar ayrımı temelden yanlış. Bizim günlük yaşamımızı da en derinde bu belirsizlikler, gariplikler belirliyor.

## Heisenberg Belirsizlik İlkesi



Bir kuantum sisteminin bazı özellikleri, örneğin bir parçacığın konumu ve momentumu, aynı anda istenen kesinlikte belirlenemez. Yani, bir parçacığın konumundaki belirsizlikle momentumundaki belirsizliğin çarpımı hiç bir zaman belli bir değerden küçük olamaz. Dolayısıyla biri kesin olarak ölçülürse diğerindeki belirsizlik sonsuz olur. Örneğin, parçacığın konumunu kesin olarak belirlersek momentumu hakkında hiçbir fikrimiz olamaz; momentumunu kesin olarak belirlersek, bu kez parçacığın nerede olduğu hakkında hiçbir fikrimiz olamaz.

## Spin



Parçacıkların kendi iç dinamikleriyle ilgili bir özelliktir. Bir topun kendi etrafında dönmesine benzetilebilir. Fermiyon sınıfı parçacıklar, kesirli spinlere, bozon sınıfına giren parçacıklarsa, sıfır ve tam sayı spinlere sahiptirler.

## Üst Üste Gelme



açmaktadır. Bir çok fizikçiye göre üst üste gelme ilkesi, sadece mikroskobik sistemler için geçerlidir.

Bir kuantum sistemi aynı anda birden fazla durumda bulunabilir. Yani bir elektron, uzayda birden fazla konumda veya birden fazla enerji durumunda olabilir. Sağduyuya aykırı görünen ve anlaşılması en zor ilkelerden biridir. "Schrödinger'in kedisini" örneğinde olduğu gibi (bkz: Bilim ve Teknik sayı 393, s. 28) kedinin aynı anda hem canlı hem de ölü olması gibi kabul edilmesi güç sonuçlara yol

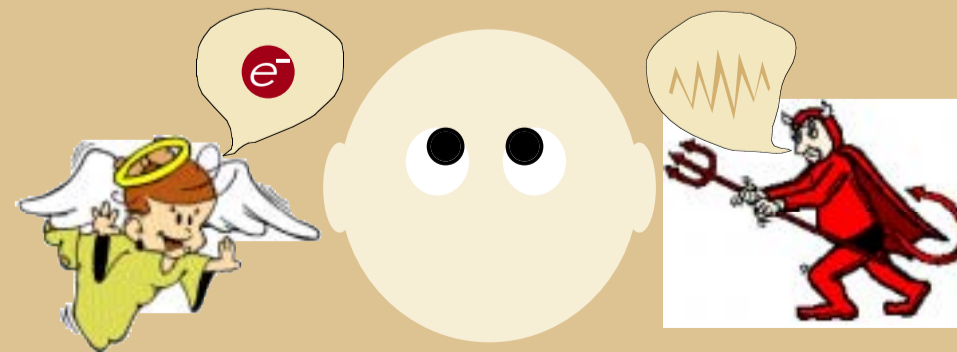
## Planck Sabiti

Kuantum fiziğinin temel fiziksel sabitidir.  $h = 6,626 \times 10^{-34}$  Joule.saniye (Joule enerji birimidir)

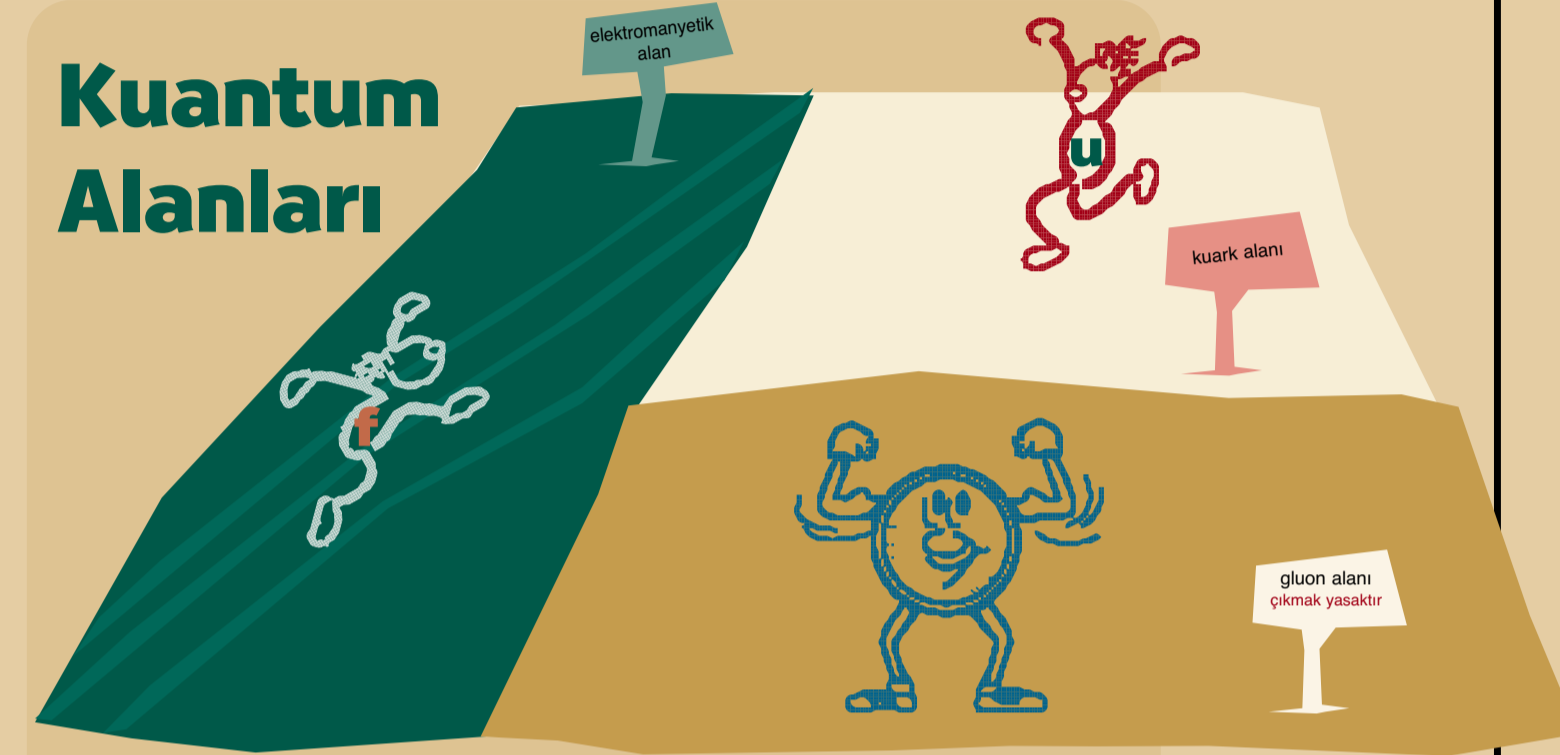


## de Broglie Dalgası

Momentumu  $p$  olan her parçacık dalga boyu  $h/p$  olan bir dalga özelliği gösterir. Parçacıklar, yapılan deneyin özelliğine bağlı olarak, parçacık ya da dalga gibi davranabilirler.



## Kuantum Alanları



Parçacıklar ve alanlar uzun süre farklı olgular olarak kabul edildiler. Kuantum alanlar kuramı, parçacıkların kuantum alanlarının temel kuantumları olduklarını gösterdi. Örneğin fotonlar elektromanyetik alanın, elektronlar bir elektron alanının, kuarklar bir kuark alanının kuantumlarıdır.

## Fermiyonlar Bozonlar ve Pauli Dışlama İlkesi

Doğada iki tür temel parçacık var: Fermiyonlar ve bozonlar. Fermiyonlar maddeyi oluşturur (örnek: elektron, proton, nötron). Maddeler arasındaki etkileşimi ileten parçacıklar bozonlardır (örnek: Elektromanyetik etkileşime aracılık eden foton). Aynı kuantum alanının kuantumları olan iki parçacığın ayırılması imkansızdır. İki aynı türden bozonunsa tüm kuantum özellikleri aynı olabilir. Yani iki bozon uzayda aynı konuma, aynı momentuma, aynı spine vs. sahip olabilirler. Bütün özellikleri aynı olan bozonlar bir arada olmak isterler. İki aynı türden fermiyonun, örneğin iki elektronun, bütün kuantum özelliklerinin aynı olması mümkün değildir. En az bir özelliğin farklı olması gerekir. Bu özelliğe Pauli dışlama ilkesi adı verilir. Yüzden fazla değişik tür atom olmasının nedeni bu ilkedir. Bir atomda aynı enerji durumunda biri yukarı diğeri aşağı spinli sadece iki elektron bulunabilir. Diğerleri başka bir enerji durumunda (yörüngede) bulunmak zorundadırlar. İki farklı atomda farklı sayıda elektron bulunması, Pauli dışlama ilkesi yüzünden atomların farklı kimyasal özelliklere sahip olmalarına neden olur.

# Kuantum Fizikinin Öyküsü

Belki de hiçbir kuram, kuantum fiziği kadar bir yüzyıla böylesine belirgin bir damga vurmamıştır. 1900 yılında Max Planck'ın karacisim ışınmasını kuantumlanmış enerji yayımıyla açıklamasının fizikte yarattığı devrim, temposundan hiç yitirmeden 20. yüzyıl boyunca yeni kuşak bilim adamlarının olağanüstü düşünce ürünleriyle zenginleşerek sürdü. Bugün eriştiğimiz bilgi düzeyini, farkında olalım ya da olmayalım, yaşamımızı etkileyen, kolaylaştıran pek çok uygulamayı, işte bu bilim öncülerine borçluyuz. Geçtiğimiz yüzyılın en önemli düşünsel başarılarından biri de, atomaltı ölçekteki evreni inceleyen kuantum mekaniğinin tersine, kozmos ölçeğinde etkili kütleçekimi betimleyen genel görelilik. Birbirleriyle uyuşmamalarına karşın bu iki kuram, birbirlerine esin vererek, birbirlerini tamamlayarak geliştirdiler. Belki de önümüzdeki yıllarda, bu kuramları özdeşleştirmek için sürdürülen çabalar meyvelerini verecek ve insanlık doğanın, evrenin işleyişi konusunda yepyeni bir anlayışa kavuşacak.

1897

**Pieter Zeeman****Joseph John Thomson**

Zeeman, ışığın bir atom içindeki yükü parçacıkların hareketi sonucu yayımlandığını buldu; Thomson da, elektronu keşfetti.

1914

**James Franck • Gustav Hertz**

Bir elektron saçılım deneyiyle duragan durumların varlığını doğruladılar.

1926

**Erwin Schrödinger**

Kuantum fiziğinin, "dalga mekaniği" diye adlandırılan yeni bir betimlemesini geliştirdi. Yeni kavram daha sonra "Schrödinger denklemi" diye adlandırılan, bilimin en önemli formüllerinden birini de kapsıyordu.

1934

**Hideki Yukawa**

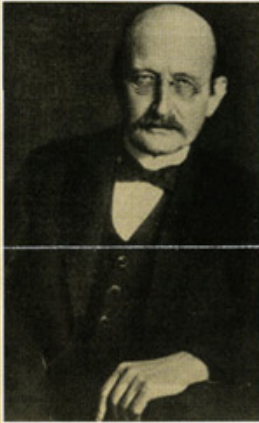
Çekirdek kuvvetlerinin, mezon denen ağır parçacıklarca iletildiği düşüncesini ortaya attı. Bunların elektromanyetik kuvvete aracılık eden fotonlarla benzer işlev yaptığını öne sürdü.

1964

**John S. Bell**

"Bell eşitsizlikleri" denen deneysel bir testle, kuantum mekaniğinin bir sistem için en eksiksiz tanımı verip vermediğinin sınanabileceğini söyledi.

1900

**Max Planck**

Karacisim ışınmasını kuantumlanmış enerji yayımı ile açıkladı: Kuantum kuramı böylece doğmuş oldu.

1923

**Arthur Compton**

X - ışınlarının elektronlarla etkileşimlerinde minyatür bilardo topları gibi davrandıklarını gözlemledi. Böylece ışığın parçacık davranışı hakkında yeni kanıtlar ortaya koydu.

1926

**Enrico Fermi • Paul A. M. Dirac**

İki bilim adamı, kuantum mekaniğinin parçacıkların saymak için yeni bir yola gereksinime duyduğunu belirlediler. "Fermi - Dirac istatistiği", katılabilir fizikine kapıyı araladı.

1946-48

**Isidor I. Rabi • Willis Lamb**

Polykarp Kusch Dirac kuramında tutarsızlıklar keşfettiler.

1964

**Murray Gell - Mann**

Madde parçacıklarını oluşturan ve kuark adı verilen temel parçacıklarla ilgili bir model geliştirdi. Kuarkların varlığı 1969 yılında deneysel olarak kanıtlandı.

1905

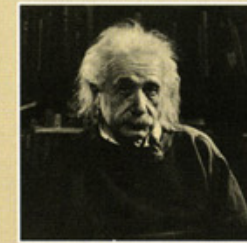
**Albert Einstein**

Dalga özellikleri olan ışığın aynı zamanda, daha sonra foton diye adlandırılacak olan belirli büyüklükte enerji paketlerinden oluştuğu düşüncesini ortaya attı.

1924

**Satyendra Nath Bose**  
**Albert Einstein**

Kuantum parçacıklarını saymak için, daha sonra Bose - Einstein İstatistiği diye adlandırılacak olan, yeni bir yöntem buldular. Ayrıca uç derecelerde soğutulmuş atomların tek bir kuantum durumuna yoğunlaşmalarını önerdiler. "Bose - Einstein Yoğuşması" 1990'lı yıllarda deneysel olarak gerçekleştirildi.



1926

**Dirac**

Işığın kuantum kuramı üzerine çokönemli bir makale yayımladı.



1927

**Werner Heisenberg**

Bir parçacığın aynı zamanda hem konumunu hem de hızını ölçmenin olanaksız olduğunu gösteren ünlü "Belirsizlik İlkesi"ni açıkladı.



1928

**Dirac**

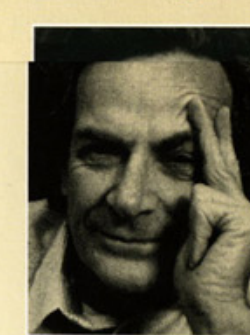
Elektronun, karşımadenin varlığın da öngören relativistik bir kuramını ortaya koydu.

1932

**Carl David Anderson**

Karşımaddeyi keşfetti. Bu parçacık pozitron adı verilen bir antielektrondur.

1948

**Richard Feynman • Jullian Schwinger • Sin-Itiro Tomonaga**

Feynman

Kuantum elektrodinamik denen ve fotonlarla elektronların etkileşimini anlatan ilk eksiksiz kuramı geliştirdiler. Kuram, Dirac kuramındaki tutarsızlıkların açıkladı.



Tomonaga

1970'ler

Parçacık fiziğinin, maddenin dört temel kuvvet aracılığıyla etkileşen kuark ve leptonlardan oluştuğunu söyleyen Standart Model'in temelleri atıldı. Kuark modeli temelinde, şiddetli çekirdek etkileşimlerini betimleyen "Kuantum Renk Dinamiği" kuramı geliştirildi.

1982

**Alain Aspect**

Bell eşitsizliklerinin deneysel bir sınavıyla kuantum mekaniğinin eksiksiz bir anlatım olduğunu gösterdi.

1911-1913

**Ernest Rutherford • Niels Bohr**

Rutherford (solda), atomun çekirdek modelini oluşturdu (1911). Bohr ise, atomu bir gezegen sistemi gibi betimledi. Ayrıca duragan enerji durumları kavramını ortaya attı. Hidrojenin tayfını açıkladı (1913). Günümüzde geçerli olan modele göreyse atomlar, çapı cm'nin yüz milyonda biri olan bir elektron bulutundan ve bunun çapından yüzbin kez küçük bir çekirdekte oluşuyor. Çekirdek, (+) elektrik yükü protonlardan ve yüksüz nötronlardan oluşur. Çekirdeğin çevresinde proton sayısı kadar (-) yüklü elektron döner. Elektronların kütlesi, protonunkinden 2000 kez küçük.

1925

**Wolfgang Pauli**

Aynı özelliklere sahip fermiyon türü iki parçacığın, aynı enerji düzeyinde bulunamayacağını söyleyen "Dışlama İlkesi"ni açıkladı.

1925

**Werner Heisenberg**  
**Max Born • Pascual Jordan**

Kuantum mekaniğinin ilk biçimi olan matris mekaniğini geliştirdiler ve kuantum alan kuramı yolunda ilk adımı attılar.

1957

**John Bardeen • Leon Cooper**  
**Robert Schrieffer**

Elektronların, kuantum özellikleri dirençsiz hareket olanağı veren çiftler oluşturabildiklerini gösterdiler. Bu, süperiletkenlerin sıfır elektrik direncini açıkladı.

1959

**Yakir Aharonov • David Bohm**

Bir manyetik alanın, elektronun kuantum özelliklerini klasik fiziğin yasakladığı bir biçimde etkilediğini öne sürdüler. "Aharonov - Bohm etkisi", 1960 yılında gözlemlendi ve akla gelmedik pek çok makroskopik etkinin gizli işaretlerini verdi.

1960

**Theodore Maiman**

Charles Townes, Arthur Schawlow ve diğerlerinin daha önce yapmış oldukları çalışmaları ileri götürerek, pratik kullanımlı ilk lazeri geliştirdi.

1995

**Eric Cornell • Carl Wieman**  
**Wolfgang Ketterle**

Ketterle

Mutlak sıfırın (-273°C) yalnızca milyonda bir derece üzerine kadar soğutulmuş metalik atom bulutlarını tek bir kuantum durumuna hapsederek, 70 yıl önce kuramsal varlığı öne sürülen Bose - Einstein Yoğuşması'ni oluşturdu. Bu başarı, atom lazeri ve süper akışkan gazlar gibi pratik uygulamalar için yolu açtı.