Quantum Hesaplama

Dr. Cahit Karakuş

Balbiti

2020-Istanbul

İçindekiler

1. Quantum Mekaniği 3
   1.1. Modern Atom Teorisi 4
   1.2. Quantum Teorisi 5
   1.3. Foton 14
   1.4. Quantum Mekaniği Uygulamaları 16
   1.5. Dolanıklık Etkileşimi 20
2. Quantum Mekaniğinin Temelleri 26
   2.1. EPR Paradoksu 30
   2.2. Bell Eşitsizliği 37
   2.3. Kopenhag yorumu 42
   2.4. Momentum 44
   2.5. Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi 48
   2.6. Schrodinger Dalga Denklemi 54
   2.7. Entropi 56
   2.8. Nedensellik 60
3. Quantum Radarı 61
4. Elektromanyetik Işıma 65
5. Quantum Hesaplama 69
   5.1. Klasik Bilgisayardan Quantum Bilgisayara 69
   5.2. Dirac Gösterimi (The Dirac Notation) 72
   5.3. Qubit 73
   5.4. Bitden Qubite 75
   5.5. Quantum Bilgi İşlemesi 81
   5.6. Quantum Mantıksal Kapılar 83
   5.7. Quantum Bilgisayar ve Quantum Simülatör 96
6. Referanslar 98

1. Quantum Mekaniği

Yunancada “bölünemez” anlamına gelen “atomos” kelimesinden alınmış olan atom, terim olarak ilk defa MÖ 460’lı yıllarda Democritus tarafından kullanılmıştı. Atom ile ilgili bilinen ilk açıklamaları, varsayımlar şeklinde yapan Democritus, örneğini elmanın önce ikiye bölünmesini, sonra eldeki yarım elmanın tekrar ikiye bölünmesini ve böyle devam ederek bölünemez küçük parçaya kadar bölünmesini ve en sonunda bölünmesi mümkün olmayan son parçaya da “atomos” adını vermiştir.

Democritus teorisinde, her şeyin fiziksel ve geometrik olarak bölünemez olan "atomlardan" oluştuğunu; atomlar arasında boşluk olduğunu; atomların yok edilemez olduğunu ve her zaman hareket halinde olduğunu ve olacağını; sonsuz sayıda ve şekil ya da boyut olarak farklılık gösteren atom türleri olduğunu savundu. Demokritos, atom kütlesinde, "Bölünemezler ne kadar fazlaysa, o kadar ağırdır" dedi. Democritus'un akıl hocası, Leucippus atomizm teorisini ilk geliştiren kişi yani fikrin mucidi olarak kabul edilmektedir.

Atom modeli ile ilgili bilinen ilk deneysel çalışmayı, 1805 yılında John Joseph Dalton gerçekleştirmiş ve atom için “içi dolu berk küre” benzetmesini yapmıştı. Joh Dalton: “Temel yapı taşı olan atomlar bölünemez,” dedi. Bir manada yanıldı. 1897 yılında maddenin en küçük parçasının atom olmadığı, onu oluşturan artı ve eksi yüklü temel parçacıkların bulunduğu belirtilmişti.

Ernest Rutherford tarafından, 1911 yılında yapılan çalışmalar sonucunda atomun çekirdekli bir yapıya sahip olduğu keşfedildi. Rutherford, arkasına film yerleştirilmiş bir altın tabakaya +2 yüklü alfa tanecikleri göndererek ışınların levhaya çarptıktan sonra izledikleri yolları incelemişti. Çekirdek içerisindeki artı yüklü parçacıkları (protonları) keşfetmiş, protonların elektronlardan 1.836 kez daha ağır olduğunu belirlemişti. Atom kütlesinin büyük bir kısmını oluşturan artı yüklü çekirdek ile bunun etrafında dairesel yörüngelerde dönen elektronların bulunduğunu belirterek atom modeli için “güneş sistemi” benzetmesini kullanmıştı. Daha sonra, Thomson ve Rutherford’un yanında çalışmış olan Danimarkalı fizikçi Niels Bohr, 1912 yılında, Rutherford modelindeki eksiklikleri gidermek için yaptığı çalışmalarla kendi adıyla anılan ve günümüzdeki atom modeline en yakın atom modeli olan “Bohr Atom Modeli”ni geliştirdi. Bohr, elektronların, çekirdeğin etrafında istedikleri gibi dolaşmayıp yalnızca çekirdeğe belirli uzaklıktaki katmanlarda döndüklerini belirtmiştir.

1.1. Modern Atom Teorisi

Atom modelleriyle ilgili olarak geçmişten günümüze kadar birçok bilim insanı tarafından öne sürülen fikirler, zaman içerisinde olgunlaştırılmış ve günümüzde kabul edilen "Modern Atom Teorisi" halini almıştır. Evrende bilinen bütün maddeler pozitif yüklü bir çekirdek ve etrafında dönen negatif yüklü elektronlardan oluşan atomlardan meydana gelmektedir (kozmik madde, yüksek enerjili madde ve anti madde hariç). Bu nedenle, bir elementin kimyasal özelliklerini taşıyan en küçük parçasına atom denilmektedir. Atom negatif yüklü elektronlardan, positif yüklü protonlardan ve yüksüz nötrondan oluşur. Nötron ve protonların bulunduğu kısım çekirdek olarak adlandırılır. Elementlere ait atomların proton ve elektron sayıları birbirine eşit olduğu için atomlar nötr yapıdadır. Elektronlar çekirdekten belirli uzaklıklarda farklı katmanlarda hem kendi etraflarında hem de çekirdeğin etrafında çok hızlı hareket eder. Bu sebeple elektronlar çekirdeğe düşmezler, çekirdek tarafından çekildikleri için de dışarı fırlamazlar.

Bazı elementler güçlü çekirdek çekme kuvvetine sahiptir ve elektron kaybını reddederler, bunlara yalıtkan malzeme (hava, cam, kauçuk, çoğu plastik) denir. Bazı malzemeler ise zayıf çekiciliğe sahiptir ve elektronların kaybolmasına izin verir, bunlara iletken malzeme (bakır, gümüş, altın, alüminyum) denir. İletkenlerde elektronlar bir atomdan diğerine geçer, iletkendeki atomların son yörüngelerinden birim zamanda geçen elektron (elektrik yükü) miktarına elektirk akımı denir. 1 amperlik akımın oluşabilmesi için iletkenin herhangi bir noktasından 1 saniyede $6{,}25 \times 10^{18}$ elektron geçmesi gerekmektedir.

Uranyum gibi ağır radyoaktif atomların bir nötronu yutması ile daha küçük atomlara bölünmesi (fisyon) sonucunda çok büyük bir miktarda ısı enerjisi açığa çıkar. Herbir parçalanma tepkimesi sonucunda açığa enerji ve 2-3 adet de nötron çıkmaktadır. Tepkime sonucu açığa çıkan nötronlar da kullanılarak parçalanma tepkimesinin sürekliliği sağlanabilir bu sürece zincirleme tepkime denir. Öte yandan hafif atom çekirdeklerinin birleşme tepkimeleri ile de büyük bir enerji açığa çıkmaktadır. Çok yüksek sıcaklıkta yüksek enerjiye ulaşan atom çekirdeklerinin çarpışması ile füzyon (Güneş) tepkimesi sağlanabilmektedir. Fisyon ve füzyon tepkimeleri ile elde edilen enerjiye "nükleer enerji" veya "çekirdek enerjisi" adı verilmektedir.

1.2. Quantum Teorisi

Quantum teorisi, Max Planck adında Alman fizikçinin açığa kavuşturulamamış bazı fiziksel fenomenlere açıklamalar getirmesiyle başlamıştır. O güne kadar ışığın sadece dalga olduğu düşünülüyordu. Bu düşünce tarzıyla fotoelektrik olayı gibi bazı durumlar açıklanamıyordu. Fotoelektrik olayında, iletken bir levhanın üzerine uzun dalga boylu elektromanyetik ışıma gönderildiğinde elektrik devresinde herhangi bir akım oluşmuyor. Üstelik gönderilen ışık miktarı artırıldığında da durum değişmiyor. Ancak, yüksek enerjili, kısa dalga boylu (yüksek frekanslı) elektromanyetik ışıma gönderildiği zaman metal levhadan elektronlar kopmaya başlıyor ve devreden geçen akım ampulün yanmasını sağlıyor. Max Planck, fotonların elektromanyetik dalga olarak ışımasının yanı sıra parçacık gibi de davranabileceğini belirterek quantum mekaniğinin temellerini atmıştır.

1900 yılında Alman fizikçi Max Planck(1858-1947) ışığın quanta adını verdiği küçük enerji parçacıklarından oluştuğunu ortaya koymuştu. Max Planck, ısı radyasyonunun farklı birimlerde ya da kuantlarda yayıldığını ve absorbe edildiğini açıklamıştı. Ardından 1905 yılında Albert Einstein (1879 – 1955) fotoelektrik olayını incelediği sırada ışımanın doğasının quantize olduğunu önerdi. Böylece Max Planck'ın quanta fikrini kullanarak quanta adı verilen enerji paketleri ile enerjinin aktarıldığını ortaya koydu. 1923 yılında, ABD fizikçisi Arthur H. Compton, X-ışınlarının kurgusal doğasını gösterdi. 1926 yılında quanta ya da enerji paketleri Amerikalı kimyager Gilbert Lewis (1875 – 1946) tarafından foton olarak adlandırdı.

Quantum kavramını Max Planck'ın ortaya çıkardığı düşünülse de birden fazla bilim insanının katkısıyla ortaya atılmış ve geliştirilmiş bir kuramdır. 20. yüzyılın ilk **yarısında Max Planck, Albert Einstein, Niels Bohr, Louis De Broglie, Erwin Schrödinger, Werner Heisenberg, Paul Dirac** ve diğerleri tarafından geliştirilen Quantum mekaniği devrim niteliğindeydi ve tartışmalıydı. Albert Einstein gibi bir dahi bile bunun ciddi bir teori olamayacağını düşünüyordu. Her biri yapılan çalışmalarından ötürü Nobel Fizik Ödülü'ne layık görülmüşlerdir.

Quantum fiziğinde en basit şekilde mutlak doğrular yoktur, tecrübelerden edinilen doğrular vardır diyen ve olasılığı kendine yöntem edinen bir kuramdır. Atom altı parçacıkların ve gözlemlenemeyen olayların davranışlarını gözlemlerken onun mutlaka bir değişime uğradığını savunulur. Objektif gözlem bile kendi içinde objektif değildir düşüncesi kuramda hakimdir. Bilinç olmadan maddenin varlığını kabul etmez, quantum, yani aslında her şey soyuttur ve bir biri ile etkileşim halindedir. Quantum fiziğinin temel prensibi evrende enerjinin süreksizliği; kuantlar halinde olmasıdır.

Quantum fiziğinin diğer çarpıcı buluşu da birbiriyle hiç iletişim imkanı bulunmayan iki quanta arasında çok önemli korelasyonlar (bağıntı - dolanıklık) gözlenmesidir. Bunlardan biri üzerinde yapılan bir ölçümün hemen öbürünü de etkilediği görülmüştür. **Korelasyon,**

olasılık kuramı ve istatistikte iki veya daha fazla raslantısal değişken arasındaki doğrusal ilişkinin yönünü ve gücünü gösterir.

Quantum mekaniğinin temeli atom altı parçacıklarının davranışlarının öngörülmesi fikrine dayanmaktadır. 1901 ile 1932 tarihleri arasında quantumun 4 temel prensibi çalışılmıştır:

1) Birincisi enerjinin parçacıklar halinde bulunması
2) Quantum mekaniğinin ikinci pensibi enerji aynı zamanda hem parçaçık ve hemde dalgadır.
3) Quantum mekaniğinin üçüncü prensibi ise parçacığın ne olduğunun anlaşılabilmesi için bir olasılıklar bütününden bahsedilmesi gerekmektedir.
4) Quantum mekaniğinin dördüncü prensibi ise Heisenberg'in belirsizlik prensibine göre bir parçacığın konumunun ve hızının tespit edilememesidir.

Enerjinin parçacıklar halinde bulunması prensibi:
Şu an gözümüze gelen ışık enerjisi aslında parçacıklar halindedir. Işığın bütün özellikleri atamon temel parçacığı olan foton özelliğinden başlayarak açıklanabilir. Aynı zamanda bu gelen ışık dalga gibi de hareket ediyor.

Atomlar minimum enerjiye sahiptirler ve sıcaklık arttıkça titreşmeye başlarlar. Diğer bir anlatımla atomların içindeki titreşimler quantize olmuş haldedir. Bunlara Fononlar denir. Fiziksel olarak bir parçacık olmadığı için genellikle parçacığımsı olarak adlandırılır. Fotonlar gerçek, fononlar ise ancak atomlar birbirine bağlı olduğu zaman var olan; düşüncemizde var olan bir parçacık; varmış gibi hareket ediyor. Parçacık değildir, bir durumu anlatmak için kullanılır. Fonon, bir kristal örgüsünde bulunan atomların ortak titreşimlerinin nicelleştirilmesidir. Optik ve akustik fonon olmak üzere iki çeşidi bulunur. Optik fononların enerjileri daha yüksektir ve fotonla çiftleşmeleri daha kolay olur. Akustik fononlar ise daha düşük enerjilidir.

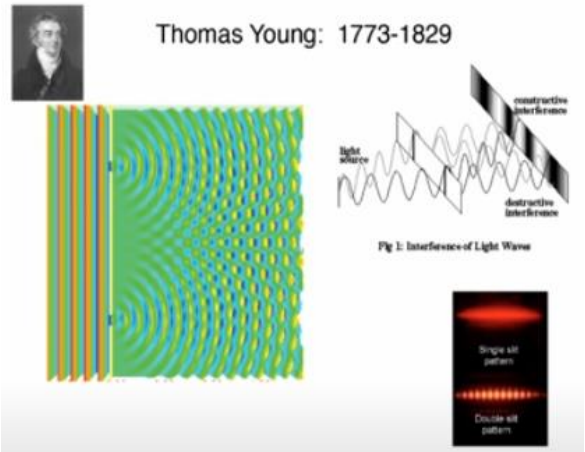
Maddelerin yalıtkan ya da iletken olmaları fononlara bağlıdır. Tıpkı bir "foton" bir ışık dalgası içindeki quantum bir parçacık olduğu gibi, bir fonon da bir ses dalgası içindeki bir parçacıktır. "Fonon" terimi, "ses" anlamına gelen Yunanca "telefon" kelimesinden türetilmiştir. Yüksek iletkenlik, bilgisayar bilimi ve enerji depolama alanlarında çok önemlidir, aşırı yalıtım ise koruyucu malzemeler için faydalıdır. Fononlar belirli enerji seviyeleri alırlar; belirli enerji seviyelerini almazlar. Fononlara bozon, elektronlara fermiyon denir. Elektron üzerinde taşıdığı yük ile quatize olmuş bir enerji biçimi sunar. Yalıtkanlık ve iletkenliği belirlemek için elektronların fononlar ile olan ilişkisine bakılır. **Enerjinin parçacıklardan oluşması quantum mekaniğinin birinci prensibidir. Bunun böyle olduğunu bilmiyoruz, varsayıyoruz.**

Fotonlar sadece elektronlardan yayılmazlar. Çekirdek, dengesizleşirse fotonlar da yayar. Bu radyasyonlara X-ışınları ve gama ışınları denir. Atomların parçalanaması (fizyon) ile nötronlar, atomların çarpışması (füzyon) ile protonlar açığa çıkmaktadır. Bu durumda

proton, nötron ve elektronların yanı sıra atom altı parçacık olarak adlandırılan alfa ve beta parçacıkları, X ve gama ışınları da açığa çıkmaktadır.

Atom altı parçacıkların aynı anda hem dalga hem de parçacık olduğu prensibi:
Atom modelinin geliştirilmesine yönelik olarak daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda; Louis De Broglie (1924) elektron gibi parçacıkların da dalga özelliği gösterdiğini belirtmiştir. Parçacık olarak bildiğimiz elektron, proton, nötron gibi atomun temel taşları aslında elektromanyetik dalga gibi davranır ve bir elektronun da evrenin her yerine dağılabileceği potansiyeller dalgası (foton) da vardır. **Louis de Broglie, 1924'te, enerji ve maddenin oluşumunda ve davranışında temel bir farklılığın bulunmadığını ileri sürdü: Hem enerji hem de maddenin temel parçacıkları, koşullara bağlı olarak, ya parçacıklar ya da dalgalar gibi davranırlar.**

1924 yılında Paris'de Louis De Broglie, atom altı parçacıkların aynı anda hem dalga hem de parçacık olduğunu tezinde belirtiyor. Einstein'ın doğrudur demesiyle, bu iddia bilim çevresinde kabul edilmiş oluyor. Aslında bu iddia çok önceden deneyle kanıtlamıştı; Thomas Young'ın çift yarık deneyinde eğer elektronlar tek yarıktan parçacık olarak geçiyor olsaydı; bir noktada yığılırdı. Bu gayet tabii beklenen bir sonuç. Burada elektron düşünüldüğü gibi parçacık hareketi sergiler. Eğer çift yarıktan geçerse parçacığın aynı zamanda dalga olduğu da görülüyor. Burada olan şey elektronların parçacık gibi değilde dalga hareketi yaparak yayılmasıdır. Yani başka bir deyişle bir elektron aynı anda iki yarıktan birden geçiyor ve kendisi gibi davranan elektronlar ile sönümleme ve birleşme yaparak dalga fonksiyonu oluşturuyor. Eğer deliklerden birine müdahale edilirse iki delikten geçen parçacıklar ayrı ayrı yığılır.



Gözlem olmadığı sürece sistem süperpozisyon ilkesine uyar ve elektronlar aynı anda iki yarıktan birden geçerek bir dalga deseni oluşturur. Ama işin içine gözlem girdiği anda süperpozisyon ilkesi geçerliliğini kaybeder ve elektron kendisinden beklenen iki durumdan birine çöker. Peki bu nasıl olabilir? **Elektronlar gözlemlendiğini algılayıp kendisinden beklendiği gibi mi hareket ediyor? Elektronlar akıllı mı?** Quantum dünyası şu anlık bu

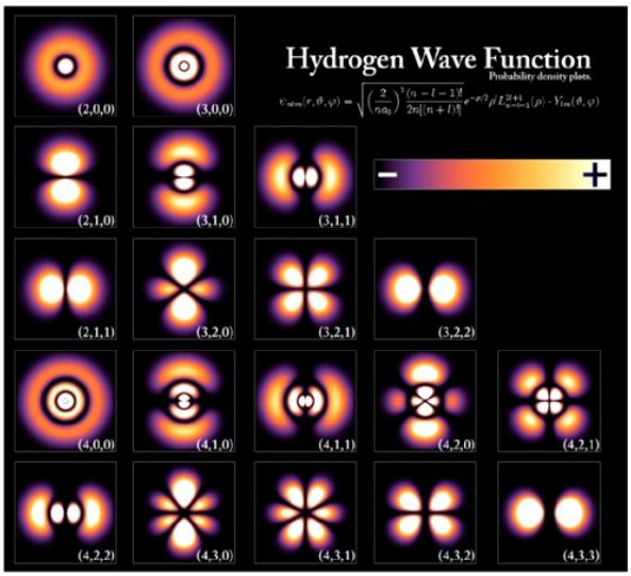
sorulara cevap bulabilmiş değil. Ama bu sonuç her insanın kafasında soru işaretlerine neden olabilecek seviyede.

Sadece atom altı parçacıklar değil atomlarda benzer davranış sergilemektedir. Aslında insanlar da dahil tüm cisimler hem parçacık hem de dalga ışıması gibi davranış sergilerler. Bu iddia varsayım olarak ileri sürülmüş hiçbir zaman yanlışlığı ispat edilememiş bir deneydir. Quantum mekaniğinin ikinci pensibi enerji aynı zamanda parçaçık ve dalga olduğudur.

Parçacık ve dalga tipi ışımanın da iki gruba ayrılrılır. Bunlar, "**iyonlaştırıcı**" ve "**iyonlaştırıcı olmayan**" radyasyonlardır. **İyonlaştırıcı radyasyon, çarptığı maddede yüklü parçacıklar (iyonlar) oluşturabilen radyasyon demektir.** O halde iyonlaştırıcı radyasyonlar, önlem alınmadığı takdirde tüm canlılar için zararlı olabilecek radyasyon çeşitleridir. Başlıca beş iyonlaştırıcı radyasyon çeşidi vardır. Bunlar, **Alfa ve Beta parçacıkları**, **X ve Gama ışınları** ve **Nötronlar**dır. Nötronlar yüksüz parçacıklardır. Bu özelliklerinden dolayı herhangi bir madde içerisine kolaylıkla nüfuz edebilirler. Doğrudan bir iyonlaşmaya sebep olmazlar. Ancak atomlarla etkileşmeleri, iyonlaşmaya neden olan alfa, beta parçacıklarının, gama veya X ışınlarının ortaya çıkmasına neden olabilir.

Dalga-parçacık ikiliği Quantumun en özlü fenomenlerinden biridir. Bir elektron (veya başka herhangi bir Quantum nesnesi) bazen bir parçacık gibi davranır, bazen de bir dalga gibi davranır. Elektronun ne zaman bir dalga gibi davrandığı ve ne zaman bir parçacık gibi davrandığı nasıl anlaşılır?

Quantum mekaniğinin üçüncü prensibi ise parçacığın ne olduğunun anlaşılabilmesi için bir olasılıklar bütününden bahsedilmesidir:
Erwin Schrödinger (1926) ise atom içeresindeki elektronların parçacık (Quantum) karakterine zıt olarak bir dalga şeklinde hareket edebileceğini öne sürmüş ve elektron gibi küçük taneciklerin enerjilerini ve genel davranışını açıklayan bir denklem geliştirmiştir (Schrödinger Dalga Denklemi). Daha sonra Schrödinger, Quantum mekaniğinde "üst üste gelme (süperpozisyon)" durumu için "Schrödinger'in kedisi" diye bilinen ünlü düşünce deneyini (1935) önermiştir. Bu çalışmalara, Thomas Young tarafından 1803 yılında yapılan (Feynman, 1986) ve ışığın hem dalga, hem de parçacık olarak davrandığının ortaya koyulduğu ünlü çift yarık (çift delik) deneyi ilham olmuştur. Bir elektronun aynı anda farklı yerlerde bulunma olasıkları toplamı bire eşittir. Bu durum Schrödinger'in kedisi deneyi ile anlatılır.



Yukardaki resim bir hidrojen atomundaki elektronların yörüngelerini göstermektedir. En yukarda ve en solda bir hidrojen atomunun yörüngesinin iki boyutlu gösterimi verilmiştir. Aslında bu yörüngeler üç boyutludur. Turuncu renkler elektronların bulunma olasılığını yansıtan gösterimlerdir. Isıtılarak ya da dışarıdan ışıma ile hidrojenin enerjisi artırılırsa elektonların bulunduğu yörüngenin dalga boyu büyümektedir. Isıma artırılmaya devam edilirse sol üsten ikincisinde görülen dalga fonksiyununda, hidrojen atomu ikiye parçalanır. Aynı anda elektronların yarısı yukarıda yarısı aşağıdadır. Giderek enerji artırılırsa aynı atomda elektronların aynı anda bulunduğu yörüngeler de çoğalmış olmaktadır. Peki bu nasıl biliniyor? Quantum mekaniğinin formülasyonundan bilinir. Bu bir hesaplama fakat yapılan deneyler bu hesaplamanın doğru olduğunu göstermektedir. Parçacıklar bir yerde olmak zorunda değil, aynı anda bir kaç yerde olabilme olasılıkları bulunmaktadır.

Quantum mekaniğinin dördüncü prensibi ise Heisenberg'in belirsizlik prensibine göre bir parçacığın konumunun ve hızının tespit edilememesidir.

Aslında b**elirsiz olan hiçbir şey yoktur, belirsiz olan bizim ne kadar bilemediğimizdir.** Çok şey biliniyor. Atom mekaniği Newton mekaniğine uymuyor. Werner Heisenberg (1927) elektronların aynı anda, eş zamanlı hızlarının ve yerlerinin tespit edilemeyeceğini (Heisenberg Belirsizlik İlkesi) belirlemiştir. Fiziksel büyüklük ölçülürken temas edilir. Sözgelimi pastorize edilecek sütün sıcaklığını termometre ile ölçülen değeri, sıcaklığın o andaki değerdir. Bir sonrki değeri değişmiştir. Hareket eden elektronun hızı ve konumu nasıl belirlenecek? Newton mekaniğinde madde hem İstanbul'da hem Ankara'da olamaz. Oysa elektron aynı anda iki yerde birden olabilir. Quantum mekaniğinde elektronlar hem parçacık hem de dalda olarak davranıyorlar. Parçacıklar tesadüfi davranıyorlar.

Kopenhang yorumu: Niels Bohr (Danimarka), Werner Heisenberg (Alman), Erwin Schrödinger(Avusturya) ve Paul Dirac (İngiliz) quantum prensiplerini bir diferansiyel

denklemin içine yerleştirdiler. Max Planck quantum kelimesini ilk kullanan kişidir. Quantumun enerji parçacığı olduğu ifade eden ise Albert Einstein'dır. Bu denklemlerden ilki **Schrödinger denklemidir**,

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\Psi + V\Psi = i\hbar\frac{\partial\Psi}{\partial t}$$

Bu denklem ile dalga fonksiyonunun zamana bağlı olarak değişimi kinetik enerji ve potansiyel enerjilerinin toplamı ve elektronun enerjisi ile hangi yörüngede olacağı net olarak belirtilmektedir.

James Chadwick (1932) nötronu keşfetmiş, nötronun hidrojen dışındaki bütün atomların çekirdeklerinde bulunduğunu ve proton ile aynı kütleye sahip olduğunu belirlemiş ve bu buluşla çekirdek bölünmesinin, atom enerjisinden yararlanmanın, atom ve hidrojen bombalarının yapımının yolu açılmıştır. Chadwick bu keşfinden dolayı 1935 yılında Nobel Fizik Ödülü almıştır.

Hideki Yukawa tarafından 1935 yılında, mezonların protonlar ve nötronlar (nükleonlar) arasında etkileşimde bulunabileceği (alış-veriş yapabileceği) ileri sürülmüştür.

1932 yılında nötron ve pozitron keşfi quantum mekaniğinde dönüşümü başlatmıştır. Yukarıdaki denklem rölativistik değil, nonrölativistiktir. Yani normal hızda giden elektronların denklemidir. Dirac, bu denklemi rölativiteye çevirmiştir.

Katıların içinde elektronlar ışık hızı ile gitmediğine göre, çoğu zaman ölçülebilir hızlarda gittiğine göre neden böyle denkleme ihtiyaç olduğu tartışılmış olsa da son yıllarda keşfedilen vinyl metalinde elektronların ışık hızıyla hareket ettiği görülmüştür. Bu metalde elektronların ısıtılmadan ışık hızında hareket etmesi süper bilgisayarlarda soğutma problemine çare olacağı görülmektedir.

Öte yandan Schrödinger denkleminin rölativist hale gelebilmesi için pozitif yüklü elektronlar olması lazım. Protonun kütlesi elektronun kütlesinden 1860 kat daha ağır. 1932 yılında keşfedilen parçacık, pozitrondur. Pozitif yüklü elektron ya da elektronun anti maddesi. Aynı yıl nötronda bulununca quantum mekaniğinin quantum alanında mühendisliği başlamıştır. Özellikle Dirac denklemi inanılmaz değişim başlatmıştır.

Dirac'ın fiziğe ilk temel katkısı, 1926'da yazdığı bir makalede, quantum mekaniğinin soyut bir matematik formülasyonunu vermesiyle olmuştur. Dirac'tan hemen önce Born, Pascual Jordan ve Werner Heisenberg matris mekaniğini geliştirmiş bulunuyorlardı. Bunlardan

bağımsız olarak, İsviçre'de Erwin Schrödinger, quantum kurallarının dalga mekaniğini keşfetmişti. Dirac'ın quantum mekaniği, bu iki yaklaşımı da içeren, çok daha kapsayıcı ve mantıksal açıdan daha basitti. Quantum mekaniğinin keşfi nedeniyle 1932 Nobel Fizik Ödülü Heisenberg'e verilirken 1933 Nobel ödülünü Dirac ve Schrödinger paylaştılar.

Dirac'ın quantum fiziğine ikinci temel katkısı, 1928'de özel rölativite teorisini quantum mekaniğine uyuşturması olmuştur. Dirac, ışık hızına yakın hızlarda hareket eden bir elektronun ancak birbirine bağlı dört diferansiyel denklemi sağlayan dört dalga fonksiyonuyla tanımlanabileceğini gösterdi. Dirac'ın tek bir matris denklemine eşdeğer rölativistik dalga denklemleri, quantum teorisinde bir çığır açmıştır.

Quantum alan kuramının ortaya çıkmasına yol açan soru; elektronların uyarılmış durumlardan dışarıya bir foton atarak en düşük enerjili duruma nasıl geçtiği ya da sıçradığıdır. Einstein bunun için 1916 yılında bir mekanizma önerdi fakat nicel bir sonuç bulmak için gerekli yöntemleri geliştiremedi. Daha sonraları bu problemi çözmek için özel görelilik kuramı ile quantum kuramının bir araya getirilmesinin gerektiği anlaşıldı ve çabalar bu yöne yoğunlaştırıldı. Rölativistik (göreli) quantum kuramını kurma yönünde ilk önemli adım 1926 yılında İngiliz fizikçi Paul Dirac'tan geldi. Dirac, Schrödinger denklemine benzer ve günümüzde Dirac denklemi adıyla anılan rölativistik bir denklem geliştirdi.

Adını İngiliz fizikçi Paul Dirac'tan alan spinli ve göreli quantum mekaniği denklemi,

$$\gamma^{\mu} P_{\mu} c \Psi = m_0 c^2 \Psi$$

$$i \hbar \gamma^{\mu} \partial_{\mu} \psi - m c \psi = 0,$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada;
m_0 : parçacığın durağan kütlesini,
c : ışık hızını,
P_{μ} : dörtmomentumu,
γ^{μ} : Dirac matrislerini
göstermektedir. Dirac matrisleri, quantum elektrodinamiğinde ortaya çıkan bir 4×4 matris sınıfıdır. Kullanılan çeşitli farklı semboller vardır ve Dirac matrisleri, gama matrisleri veya Dirac gama matrisleri olarak da bilinir. Ayrıca Ψ , dört tane karmaşık sayıdan oluşan bir kolon matristir ve olasılığın dalga fonksiyonudur. Bu dört sayı da iki gruba ayrılır:

$$\Psi = \begin{bmatrix} \Psi^{+} \\ \Psi^{-} \end{bmatrix}$$

Buradaki Ψ^{+} ve Ψ^{-} , Dirac dönücüleri olarak adlandırılır ve her birinin farklı bir fiziksel anlamı vardır. Ψ^{+}dönücüsü, pozitif enerjileri, Ψ^{-} negatif enerjileri ifāde eder. Bunlar da

$$\Psi^{+} = \begin{bmatrix} \psi^{+} \\ \phi^{+} \end{bmatrix}$$

ve

$$\Psi^{-} = \begin{bmatrix} \psi^{-} \\ \phi^{-} \end{bmatrix}$$

ve
olarak tanımlanır. ψ yukarı dönü ve **ϕ** aşağı dönü olarak anlam kazanır. Yani, dalga fonksiyonu;

$$\Psi = \begin{bmatrix} \psi^{+} \\ \phi^{+} \\ \psi^{-} \\ \phi^{-} \end{bmatrix}$$

şeklindedir.

Dirac denkleminin doğal öngörülerinden birisi, elektronların spin açısal momentumu taşıdıklarının gösterilmesidir. Elektronun spin taşıdığı daha önceden deneylerle kanıtlanmıştı, ancak spinin gözlenen nitelikleri quantum mekaniğinde doğal bir açıklamaya kavuşturulamamıştı. **Ancak Dirac denkleminin esas hayranlık uyandıran yönü doğada anti-parçacıkların varlığını öngörmesidir.** Dirac denklemi, bağlı elektronların eksi enerji düzeylerinin kaçınılmaz varlığını gerektirir. İlk bakışta bunun fiziksel gerçekliğe uymayacağı açıktır. Dirac, daha sonraki makalelerinin birinde **tümü dolu eksi enerji düzeylerinden bir elektronun çıkarılması halinde, geriye kalan kısmın ortamda kısa ömürlü artı elektrik yüklü bir parçacık gibi davranacağını buldu.** Dirac'ın bu öngörüsü, 1932'de Carl Anderson'un çektiği sis odası resimlerinde; kütlesi elektronunkine eşit, elektrik yükü ters işaretli pozitron adı verilen elementer parçacığın kozmik ışınlarda varlığının kanıtlanmasıyla doğrulandı. Çok daha sonra 1955'de anti-proton da bulundu. Böylece anti parçacıkların varlığını öngören Dirac denklemi tam bir başarıya ulaştı. Dirac'ın yaratıcı zekası bunlarla yetinmedi.

Dirac, çekirdek-altı parçacıkların yaratılmasını ve yok olmasını açıklayan quantumlu elektrodinamik alan teorisinin inşaasında ilk adımları attı. Bir diğer çalışmasında Maxwell teorisini manyetik monopolları kapsayacak biçimde genelleştirdi. Öte yandan, özdeş elektron sistemlerinin sağladığı Fermi-Dirac istatistiğini kurdu. Bütün bu çığır açan keşiflerin sahibi Dirac, daha 1932'de teorik fiziğe ilişkin görüşlerini açıklarken "doğanın temel yasaları, olguların altında yatan ama insan zihninin hiçbir zaman tam olarak algılayamayacağı bir tezi denetler" demekteydi. Dirac, bu görüşüne sadık kalarak hiçbir çalışmasında, matematik simgelerle tanımladığı olguların görüntüsel modelini ya da felsefi yorumunu vermeye yanaşmamıştır.

Quantum kuramına göre, uyarılmış durumdaki bir atomun elektronu düşük enerjili seviyeye, tahmin edilemeyen bir anda dışarıya bir foton atarak geçer. **"Dışarıya atılan foton o andan önce neredeydi?"** sorusunun yanıt ise "hiçbir yer"dir. Foton geçiş anında yaratılır. Bir atom bir fotonu soğurduğunda da uyarılmış bir duruma geçer. **"Soğurmadan sonra foton nerede?"** sorusunun yanıtı yine **"hiçbir yer".** Foton artık yok. **Peki parçacıkların nasıl yaratılıp nasıl yok olduklarını açıklayan bir kuram var mı?** Evet quantum alan kuramı fotonlar, elektronlar, pozitronlar, protonlar, nötronlar, mezonlar ve diğer her tür parçacığın yaratılışı, yok edilmesi ve saçınması ile ilgili olasılıkları hesaplamak için kullanılan bir dil, bir tekniktir.

Quantum alan kuramı maddenin doğasıyla ilgili birçok temel sorunun çözümünü bulmuş olmasından dolayı kendine fizikte çok önemli bir yer edindi. Quantum alan kuramı Dirac denkleminde ortaya çıkan negatif enerjili parçacıkların aslında negatif enerjili olmadıklarını, onların pozitif enerjili antiparçacıklar olduklarını gösterdi. Neden iki temel parçacık türü (fermiyonlar ve bozonlar) olduğunu, ve bu parçacıkların özellikleriyle spinleri arasındaki ilişkiyi açıklamayı başardı. Bütün temel parçacıkların; örneğin fotonların, elektronların, pozitronların, kuarkların, gluonların ve diğerlerinin nasıl ortaya çıkıp nasıl yok olduklarını açıkladı. Özdeş parçacıkların, örneğin iki elektronun, neden özdeş olduklarını (aynı quantum alanının quantumları oldukları için) gösterdi.

Quantum elektrodinamiği elektrik yüklü temel parçacıkların, örneğin elektronların, etkileşmesinin kuramıdır. Etkileşimi ileten elektromanyetik alandır. Elektrozayıf etkileşimin alan kuramı elektrodinamikle zayıf etkileşimin birleştirilmiş kuramıdır. Bu birleştirilmiş kuramda etkileşimi ileten parçacıklar fotonlar ve W+, W- ve Z0 parçacıklarıdır. Güçlü etkileşimi açıklayan alan kuramı ise quantum renk dinamiğidir. Bu kuramda temel parçacıklar kuarklar ve gluonlardır. Elektrozayıf etkileşimin quantum alan kuramıyla quantum renk dinamiğine birlikte standart model adı verilir.

Standart model şu ana kadar yapılmış olan temel parçacıklarla ilgili bütün deneyleri başarıyla açıklamış bulunuyor. Buna rağmen fizikçiler standart modeli yetersiz buluyorlar. Bunun nedeni bu kuramın temel parçacıkların kütlelerinin, yüklerinin ve diğer özelliklerinin neden ölçülen değerler olduğunu, neden bu değerlerin quantize olduğunu, yani sadece belli değerler ve onların tam sayı katları olduklarını açıklayamıyor. Bir başka sorun ise kütle çekiminin quantum kuramının hala kurulamamış olması.

Quantum alan kuramıyla birlikte, alanlarla parçacıkların aynı olgunun iki farklı görünümü olduğu kanıtlandı. Her temel parçacığı bir quantum alanı temsil eder. Ya da başka bir değişle her temel parçacık bir quantum alanının quantumudur. Örneğin fotonlar elektromanyetik alanın, elektronlar bir Dirac alanının, nötrinolar bir başka Dirac alanının, gluonlar güçlü

etkileşimi ileten quantum alanının, Higgs parçacığı Higgs alanının temel quantumudur. **Ne kadar temel parçacık varsa o kadar da quantum** alanı vardır.

1.3. Foton

Foton, elektromanyetik alanın quantumu, ışığın temel "birimi" ve tüm elektromanyetik ışınların kalıbı olan temel parçacıktır. Foton ayrıca elektromanyetik kuvvetin kuvvet taşıyıcısıdır. Işık quantumu olarak da adlandırılan foton, elektromanyetik ışımayı taşıyan minik enerji parçacıklarıdır.

Foton bir ışık dalgasında mümkün olan en küçük enerji parçacığıdır. Ancak buradaki dalga ifadesi fotonun gözlenebilir bazı özelliklerini dalga denklemleri ile açıklayabiliyor, diğer gözlenebilir özellikleri ise fotonun parçacık da sahip olmasını sağlıyor. Bu dalga – parçacık ifadeleri de fotonun fiziksel uygulamalarında oldukça kullanışlıdır, fakat yeterli değildir. Çünkü foton hem parçacıktır hem de bir dalgadır.

1926 yılına kadar kullanılmayan foton (Yunanca phōs, phōtos, “ışık”) terimi parçacık fiziğinde, bozonlar Bose-Einstein yoğunlaşmasına uyan parçacıklardır; Satyendra Nath Bose ve Einstein'a atfen isimlendirilmişlerdir. Bozonlara bazen kuvvet parçacıkları da denir; çünkü bozonlar elektromanyetizma ve muhtemelen kütle çekim gibi temel fiziksel kuvvetlerin etkileşimlerinden sorumludurlar. Parçacık olarak adlandırılan fotonlar tüm elektromanyetik enerjiyi taşırlar ve elektromanyetik etkileşimleri taşıyan bir ayar bozonu olarak hareket ederler. Gluonlar, kuarkları bir araya getirerek proton ve nötronları oluşturan ve protonlarla nötronları da atomun çekirdeğinde bir arada tutan güçlü nükleer kuvvetin etkileşimlerini yönetirler.

Relativite (izafiyet) teorisine göre, bir parçacığın ışık hızında gidebilmesi için kütlesinin sıfıra eşit olması gerekiyordu! Demek ki ışığın enerjisi sadece kinetik enerjidir; kütlesinden kaynaklanan hiçbir enerjisi yoktu. Einstein o güne dek açıklanamamış olan fotoelektrik olayını bu kavramla açıkladıktan sonra, bilim adamlarının ağzında yeniden 'ışık nedir?' sorusu gündeme gelmişti. Eğer ışık dediğimiz olgu parçacıklardan oluşuyorsa, frekans veya dalgaboyunun ne anlamı var acaba? Aslında sorulması gereken en iyi soru: "ışık gerçekten nedir?" Cevap: 'Hem dalga, hem parçacık. Işığın bazı özellikleri sadece dalga olgusu (mantığı) ile açıklanırken (girişim veya kırınım gibi), bazı özellikleri ise sadece foton ile açıklanabiliyor (Fotoelektrik olay veya atomların enerji soğurması ve salması gibi).

Fotonlar quantum nesneler olmasına rağmen, ışık hala Maxwell'in klasik teorisi tarafından açıklanıyor. Foton modeli, ikili bir yapıya sahip olduğu için kritik olarak Maxwell denklemleriyle tutarlı değildir. Aslında bir dalga olarak Maxwell tarafından iyi

tanımlanmıştır. Maxwell denklemleri Planck'ın sabitini içermez ve dolayısıyla fotonun parçacık yapısını tanımlamaz. **Maxwell denklemleri bu eksik elemanı içermelidir** (!).

Quantumun elektrodinamiği, elektronların ve fotonların momentum değiştirdiği minimal bağlantı fikri ile açıklanır. Foton yüklü parçacıkları elektronlarla etkileşime giren bir aracı olarak görünür. Modern parçacık fiziği teorisinde foton, elektromanyetik kuvvetin taşıyıcısı olarak hareket eden integral dönüşlü (spin) bir parçacık olan bir boson olarak tanımlanmaktadır. **Tüm fotonlar ışık hızında hareket eder**. **Atom altı parçacıklar arasında göz önüne alındığında, fotonlar, elektrik yükü ya da durgun kütlesi olmayan ve bir birim spin olan bosonlardır. "Foton nedir?" sorusuna cevap ararken, durgun kütlesi sıfırdır; ışık hızıyla gider; etkileşimlere parçacık olarak girebilir ancak dalga olarak yayılır.**

Quantum terimi, bir miktarın en küçük temel birimi veya bir şeyin en küçük ayrık miktarıdır. Bir foton hem dalga benzeri hem de parçacık benzeri özelliklere sahiptir, fakat quantum değildir. Quantum, bir nicelik (miktar) ölçüsü olarak tanımlanabilir, ancak bir foton, nicelik (miktar) ölçüsü ile ilgili değildir. Bir foton quantum enerji olarak tanımlanabilir. Fizikte, bir foton bir elektromanyetik enerji demetidir. Tüm ışığı oluşturan temel birimdir. Foton bazen elektromanyetik enerjinin bir "quantumu" olarak adlandırılır. Fotonların daha küçük parçacıklardan oluştuğu düşünülmemektedir.

Madde içerisinden geçerken, bir veya daha fazla foton, nükleer partiküller veya atomlar tarafından absorbe edilebilir ve temel olarak yok edilebilir.

Fotonlar, elektromanyetik alanın kuvvetidir ve zamanla değişen elektrik ve manyetik alana sahip hareketli dalgalardır.

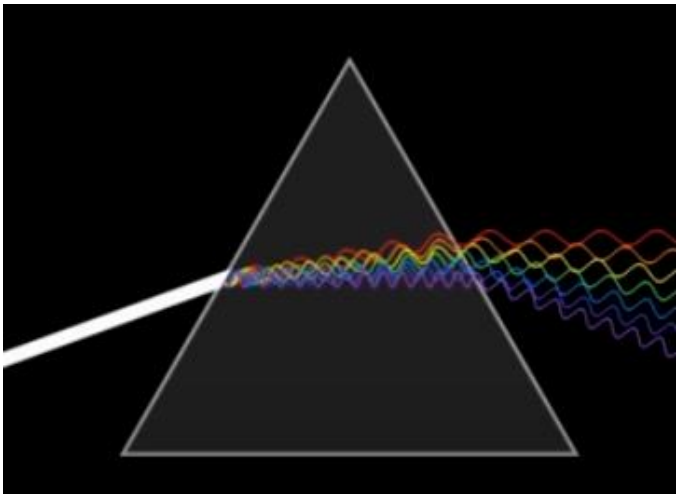
Fotonlar nötr yüklü, elektromanyetik ışımayı oluşturan kütlesiz parçacıklardır. Elektronlar negatif olarak yüklenir, genellikle atomların çekirdeği etrafında kaynaşan parçacıklar olarak bulunurlar. Işık hızına ivmenin sonsuz enerji harcadığını söylerseniz, evet bu doğrudur. Devasa bir parçacığı ışık hızına çıkarmak için gereken enerji sonsuzdur, evet. Fotonlar kütlesizdir, bu yüzden ne kadar enerji harcadığınıza bakmaksızın ışık hızında hareket ederler.

1.4. Quantum Mekaniği Uygulamaları

Quatum düşünce, quantum felsefe, quantum yoga gibi ifadelerin quantum ile bir alakası yoktur.

1932 yılında Nötrino denen küçük nötron parçacıkları teorik olarak bulundu. Günümüzde artık ölçümeye başlandı ve savunma sanayinde askeri teknolojilerin önemli araştırma alanlarındandır. Uzaktan nükleer reaktörlerin çalışıp çalışmadığını tespit edebilmenin yollarından bir tanesi de nötrinodur. Nötrinolar yerin altından hiçbir soğuruma uğramadan geçebiliyorlar.

Görmediğimiz ışıktan görünür renklerin oluşması ışığın ruhunun kendisini göstermesidir. Spectra, bir şeyin içindeki ruh demektir. Bu olayın kavranması zordur. Herbir rengin dalga boyu farklıdır. Işık hızında yayılırlar, fakat frekansları farklıdır. Bu nedenle dalga boyları farklıdır, $\lambda=C/f$, burada C, ışık hızı, f ise frekansdır. Dalga boyu, bir dalga örüntüsünün tekrarlanan birimleri arasındaki mesafedir. Dalga boyu frekans ile ters orantılıdır, dolayısıyla dalga boyu uzadıkça frekans azalır. Elektromanyetik spektrum göz önüne alınırsa çevremizde olup bitenlerin büyük bir kısmını göremiyoruz. Oysa quantum mekaniği uygulamaları ile görünmeyen tıp ve astronomi dünyası görünür hale gelmeye başlandı.



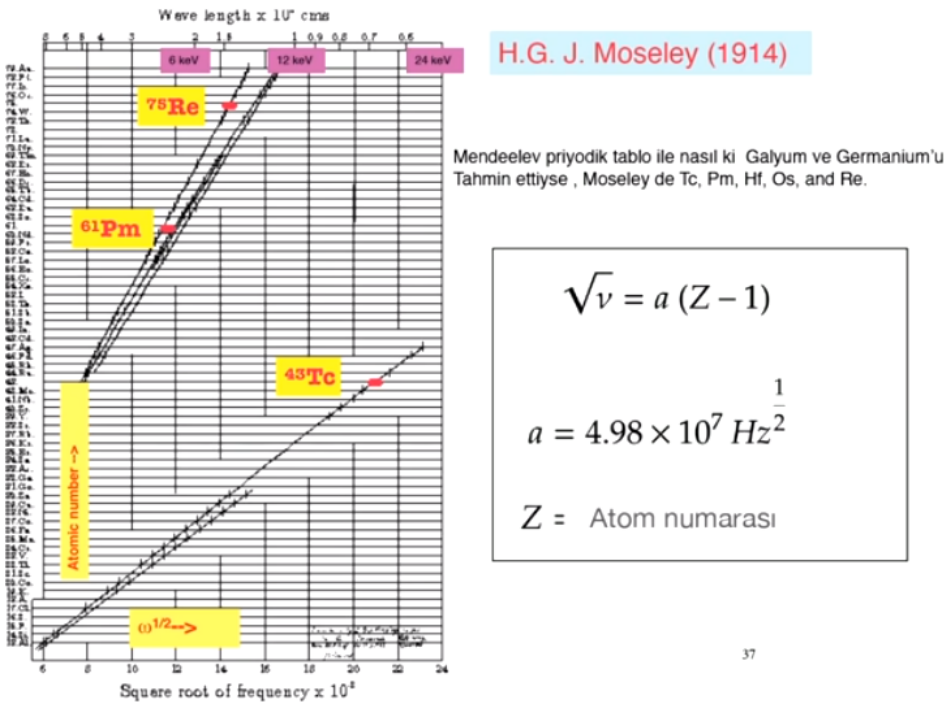
Atom altı parçacıkların biri üzerinde gözlem yapıldığında ötekinin fark etmesi:
Bu olayın anlaşılabilmesi için iki parçacığın yeniden birleşmesi gerekmektedir. Bu olaya interferans denir. Elektromanyetik girişim (electromagnetic interference, EMI), bir elektriksel sinyal üzerine yüksek frekanslı elektriksel sinyalin binmesi olayıdır. Bu tür istenmeyen yüksek frekanslı elektriksel sinyaller bir elektromanyetik girişimdir.

Yukardaki şekilde renkler ayrıştı, ileride bir yerde bu renklerin yeniden birleştirilip beyaz ışığa dönüştürülürken arada bir yerlerde birine dokunulduğunu düşünün. O zaman coherent (uyumlu, tutarlı; eş evre) olamaz. Eş evre olayı quantum kriptolojinin özünü oluşturur. Quantum kriptoloji, bilginin yüklenip farklı kanallardan gönderilip, birine dokunulup dokulmadığının belirlenmesidir.

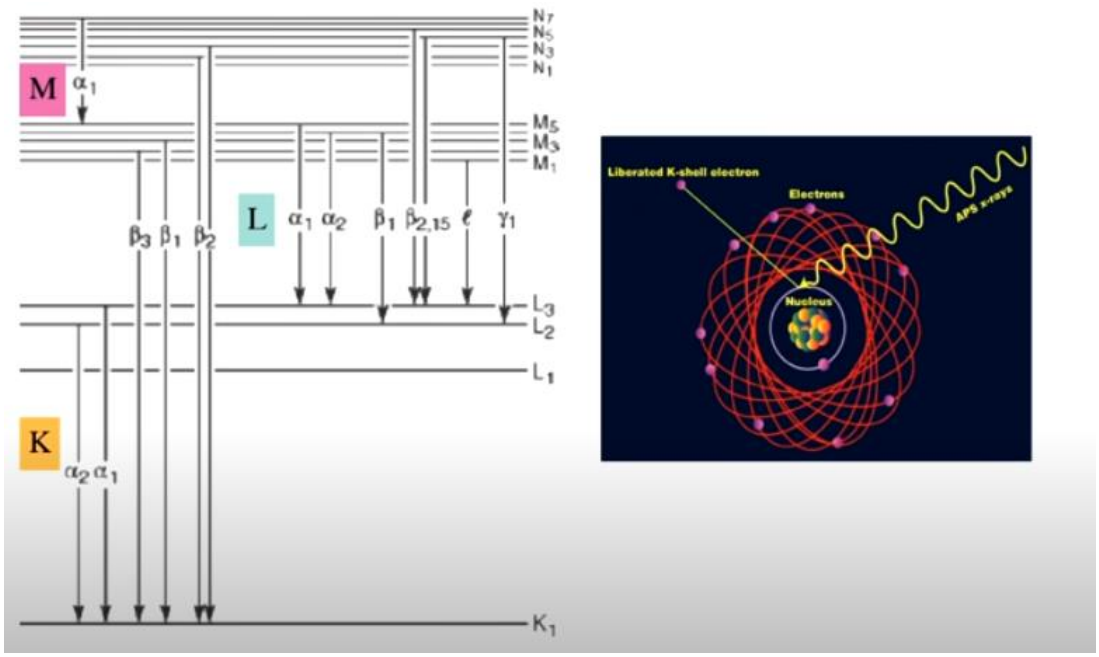
Bildiğimizi nasıl biliyoruz? Bildiklerimizi bilmemeyi nasıl beceriyoruz? Williams and Lawrance Braggs'ın formülende,

$\lambda=2d\sin\theta$

Işığın dalga boyu atomlar arasındaki mesafe ile doğru orantılıdır. O oran bir kırılma açısı ile verilir. Henry Moseley 1913 yılında bir grafik çiziyor, dünyanın en iyi üç bilimsel grafiğinden birisidir.



Işıyan parçacıkların frekansının karekökü, Z denilen atom numarası ile bağlantılıdır. Bu grafik atomları birbirinden ayırt edecek tüm bilgilere sahip olduğumuzu göstermektedir.



Atomların enerji seviyelerini (quantumlarını) gösteren yukarıdaki şekilde, enerji seviyelerinin her atom için ayrı olması ve hiç değişmemesi bize quatumun hediye ettiği bilgidir. Dalga denklemleri çözülmeseydi, bu enerji seviyeleri hesap edilemeseydi, atomların karektersitik özelliklerini bulamazdık.

Bir metalin yüzeyinde ne olduğunu belirleyebilmek için frekans spektrometresi kullanılır. Günümüzde katma değeri çok yüksek bilgi birikimi üretilen alanları oluşturmaktadır. Bu arada Moseley'in (27 - Avusturalya) mezarı Çanakkale'dedir. Ölmeseydi Nobel alacaktı. Nobel yaşayan insanlara verilmektedir. Böylelikle tüm elementlerin ve izotoplarının numaraları ve isimlerine göre dalga boyları (K,L,M) belirlenmektedir. Metallarin ısınmalarındaki renk değişimleri, içindeki fononların yaydığı dalga boyları değişmektedir.

Karanlık madde ışıması ile ilgili olarak, 1901 yılında Planck, dalga boylarının dağılımının sıcaklıkla orantılı olduğu belirtmiştir. Sözgelimi demir 4000 dereceye kadar ısıtılırken kaç derece olduğu ışıma yapan dalganın dalga boyunun spektrometre ile analizinden belirlenir.

Dünyanın merkezinde katı metal demir bulunmaktadır. Biraz merkezden uzaklaştığınızda demir sıvı halindedir. Dünyanın merkezindeki demirin sıcaklığı 6500 derece basıncı da üçbuçuk milyon atmosfer. Bu koşullar laboratuvlarda yaratılıp o demirin içindeki ses hızı (13000 m/s) belirlenebilmektedir. (Ses dalgaları hem içeride basınç dalgaları hem de yüzey dalgaları olarak yayılır. Bu nedenle deprem olduğunda sıkıştırma – genişletme dalgaları daha geç ilerler. Aralıklarında yaklaşık 3 kat fark vardır.) Dünyanın merkezinde sadece demir yoktur; hidrojen, oksijen, karbon, silisyum da var.

Atomun parçalanma sürecinde bilinçme inanılmaz derecede fazladır. Eğer elektronların madde içerisindeki davranışları anlaşılmamış olsaydı, bugün yarı iletken teknolojisi (transistör) geliştirilemezdi. Yarı iletken teknolojisi, elektronların kontrollü olarak geçilmesi işlevine dayanmaktadır. Bellekler ve işlemcilerin gelişmesi bu sayede mümkün olmuştur. **Tüm dünyada en çok üretilen devre elemanı transistördür.** Yarı iletken teknolojilerinde gelişmeler quantum sayesinde olmuştur. Bugünlerde 3 – 4 nm çapında ya da atom çapında transistörler üretilmektedir. Böylece, aynı alana çok daha dazla eleman yerleştirilmektedir.

Öte yandan pozitronun keşfinin kullanım alanı, 18 nolu florün atomunun 19 nolu izotopları 110 dakikada bir radyoaktif çözülür. Her çözülmede yarısı kayboluyor. Bu izotoplar hidroksillere çabuk bağlanıyor. Bu özelliğinden ötürü ilaç haline getirilebiliyor; ya da kanser teşhisinde kullanılıyor. Doku içerisinde yayılırken kanserli dokuya geldiğinde yayılma hızı yavaşlamakta ve orada kalmaktadır. Çünkü kanserli hücrelerin doku yoğunluğu (şeker) farklı. Poziton ışıma yaparken, kanserli hücrelerin yeri ve boyutu hızlıca belirlenebilmektedir (Petscan).

MR, bir hidrojen atomu düşünün; nötronu yok; protonu ve elektronu var; iki parçacıktan oluşur. MR süper iletken teknolojisine dayanmaktadır. Süper iletken olmadan 7 Tesla'lık magnetik alan yaratılamaz. Sıvı helyum içerisinde elektronların yarattığı manyetik alan hidrojen atomunun protonun dönme frekanslarından analizler yapılmaktadır.

Dünyada iki tür parçacık vardır; fermiyonlar ve bozonlar... Bozonlar aynı enerji seviyesinde çok sayıda bulunabilir. **Fakat protonlar ve elektronlar gibi fermiyon olanlar ise ancak ve ancak döngü momentleri birbirine ters ise iki tane olabilir.**

Josephson etkisi, süperiletken malzemelerde görülen tünelleme olayıdır. Etki, ince bir yalıtkanla ayrılmış iki süperiletkenden oluşan histeretik akım-gerilim karakteristiğini, quantum mekaniği ilkelerine göre açıklar. Olaya adını veren **Brian Josephson** tarafından 1962 yılında keşfedilmiştir. Genç yaşta Nobel ödülü alan İngiliz bilim adamı Brian, 1957 yılında lisede okurken bir fizik dergisinde yayınlanan bir makelenin eksik olduğunu fark edip yarım sayfalık bir düzeltme gönderiyor.

İki süper iletken ortada da bir yalıtkan; bu iki süper iletken ve yalıtkanı biraraya getirdiğinizde ve yalıtkanın boyutunu doğru ayarladığınız zaman hiç akım vermeden yalıtkanın içinden elektronlar akmaya başlıyor. Hiç gerilim farkı oluşturmuyorsunuz kendiliğinden akım akıyor. Bu olaya **Josephson etkisi denir.** Quantum computing denilen qubitlerin en fazla işlevselliği bu ilkeye dayanır. Quantum bilgisayarlar 0 ve 1 yerine sonsuz derecede aynı eklemde sonsuz işlem yapabilen bir bilgisayar. Bir transistör düşünün sadece 0 ya da 1 almasın yarı çapı bir birim olan yüzey üzerinde işlem yapan küresel bir sistem düşünelim. Aynı yüzeyde işlem yapıldığı ve elektronlar hareket etmediği için ısınmıyor. Bilgisayarlardaki en büyük iki problem veri transfer zamanı ve ısınma bu ikiside çözülmüş

oluyor. Bu bilgisayarlar IBM (100qubitlik kısmı halka açık). Klasik bilgisayarların 45 günlük işlem süresi bir kaç dakikaya inmiştir. Yakın gelecekte birlikte hareket eden cihazların davranışlarında insanların davranışları öngörülecektir.

Bir tek katmanlı grafit, grafin denir. Grafin içindeki elektronlar ışık hızı ile gidiyorlar. İki grafin katmanını alıp da 10 derece kadar kaydırırsanız, süper iletken oluyor. İki karbon atomu alıp hidrojenler birleştirip biraz da içine sülfür koyup 2milyon pascal basınç altında işlendiğinde süper iletken metal oluyor. Hidrojenin iletken olacağı biliniyordu ve gerçeklenmesi 2020'li yıllarda oldu.

1.5. Dolanıklık Etkileşimi

Kütle çekimi kuvveti, gezegenlerin veya diğer kütlelerin, cisimleri merkezlerine doğru çekmesidir. Güneş, kütle çekim kuvveti ile bütün gezegenlerini etrafındaki yörüngelerinde tutar. Yeryüzeyinden cisimleri fırlattığımızda neden yere düşer? Bu sorunun cevabı dünyanın kütle çekim kuvvetidir. Kütle çekimi, objeleri merkezlerine doğru çeken görünmez bir kuvvettir. Dünya'nın kütle çekim kuvveti bizi bastığımız yerde tutar ve aynı zamanda attığımız objelerin düşmesini sağlar.

Kütlesi olan her şeyin bir çekim kuvveti vardır. Cisimler büyüdükçe etraflarına uyguladıkları çekim yani kütle çekim kuvveti artar. Ayrıca kütle çekim kuvveti kütlenin merkezinden uzaklaştıkça azalır. Yani cisimler birbirine ne kadar yakınsa o kadar kuvvetli bir şekilde birbirlerini çekerler. Dünya'nın çekimi, kütlesinden gelmektedir. Dünya'nın bütün kütlesi, vücudunuzun kütlesi üzerine toplam bir çekim uygular ve bu ağırlığımızı oluşturur. Dünya'dan daha düşük kütlelere sahip bir gezegende yaşıyor olsaydınız, ağırlığınız da ona göre azalırdı. Ayrıca Dünya'nın uyguladığı kütle çekimi kuvvetinin aynısını cisimler de Dünya'ya uygular fakat Dünya oldukça büyük olduğu için cisimlerin uyguladığı kuvvet Dünya'yı etkilemez.

Kütle çekimi, Ay'ı Dünya etrafında yörüngede tutan kuvvettir. Ay'ın kütlesel çekimi yeterince büyük olduğu için Dünya'da etkileri görülür. Denizlerdeki gelgitler, Ay'ın Dünya üzerindeki sulara çekim kuvveti uygulaması ile meydana gelirler.

Kütle çekimi sadece kütle üzerinde değil ışık üzerinde de çekim kuvveti oluşturur. Karadeliklerde çok küçük bir hacme o kadar çok kütle sığmıştır ki, kütle çekimi, ışığın bile etki alanından kurtulamayacağı kadar büyük bir değer olur.

Kütle çekim kuvveti, evreni kapsayan herşeyi birbirine bağlayan gizimli bir güçtür! Gözlemlediğimiz nesneleri analiz etmenin temeli ışığa dayanmaktadır. Gözlemleyemediğimiz şeyler o kadar çok ki, söz gelimi uzay boşluğunda ses yoktur.

Einstein'ın genel kütle çekim teorilerinden "**kütle çekim dalgaları**"nın olması gerçeğidir. Kütle çekim dalgalar teorisi Einstein'ın anlaşılması en zor öngörülerinden biridir. Einstein, uzayın boş olduğuna inanmıyordu; inandığı şey uzayın yıldızlar ve galaksiler gibi kütlelerin bükebileceği bir cisim gibi hareket ettiğiydi. Uzayda büyük cisimler ani hareket ettiklerinde uzay boşluğunda dalgacıklar oluşturarak gezegenlerden dünyada yaşayan insanlara kadar karşılaştıkları herşeyi sıkıştırırlar ve esnetirler. Bu kütle çekimsel dalgaların saptanması, uzay dokusu vasıtasıyla bizim evrene fiziksel olarak bağlı olduğumuzu kanıtlar. Evrenin her tarafında yaşanan bu olaylar üzerimizde hissedilebilir bir güç uygular. Dünyadan geçen bu dalgalar aslında çok küçüktür. Bu etkiyi deneyleyebilmek için oldukça hassas sensörler yapılması gerekir. Bu gücü saptamak kolay değildir. Bu gücü saptayabilmek için ABD'de fiber optik laboratuvarlarında testler yapılmıştır (Ligo Livingston). Yıllar süren takip sonunda, iki karadelik beraber döndüklerinde ve çarpıştıklarında uzay dokusu titredi ve 1Milyar yıl sonra bu dünyadan hissedildi. Uzaydaki bu dalgacık kütle çekiminin evrendeki herşeyi birbirine bağladığının bir kanıtıdır.

Her yerde olan kütle çekim gücü evreni bir arada tutuyor. Kütle çekim gücü evrendeki gezegenleri, yıldızları ve insanları nasıl birbirine bağlayabiliyor? Kuvveti uzay boyunca taşıyan, o kuvvete ilişkin bir parçacık vardır. Mıknatısın çekim gücü olan manyetik ve elektrik kuvveti bir fotondur. Gerçekten de kütle çekim kuvvetinin bir parçacık olup olmadığı da bir gizemdir.

Kütle çekimi bilinen güçler arasında en güçsüz olanıdır. Kütle çekimini bizi dünya yüzeyine yapıştıran büyük güçlü bir kuvvet olarak görüyoruz. Ancak bunun üstesinden gelmek oldukca basittir; bir kaç fantilatör ile ya da güçlü rüzgar ile cisimler yeryüzeyinden uzaklaşabiliyor. Hava parçacıkları cismin yüzeyine çarpar ve onu yukarı doğru iter. Fakat başka bir kuvvet onu çekmeye devam eder. **Einstein'a göre kütle çekiminin, rüzgarla yükselen cisimleri yeryüzeyine çekme gücü yok.** Havalanan cismin çekim kuvveti yeryüzünün büyük kütlesi üzerindeki boşluğun şeklini bozuyor. Bu konuda quantum mekaniğinin farklı bir yaklaşımı var; en temel parçacıklar teorisine göre rüzgarla havalanan cisimler ile yeryüzeyi arasında geçen gravitonlar denen özdeş küçük kütle çekimi parçaları bulunmaktadır. Gravitonları görebilseydik kütlesi olan herşey arasında gizli bağlantılar kuran çekim kuvveti oluşturan parçacıkları her yerde görürdük. Graviton çekici ışınları ya da parçacıkları cisimleri yer yüzeyinde tutmaktadır. En azından rüzgar tünelinde değilken. Fakat bu varsayımlar ya da iddialar bilimsel deneyler ile saptanmadı.

Gravitonları belirlemek oldukca zordur. Gelir ve cisimlerin içinden geçip gider. Bu kuvvetleri taşıyan paraçacıkları saptamak için parçacık hızlandırıcılar inşa ediliyor. Gravitonları belirleyip yönlendirebilirsek, olağanüstü bir gücü yönetebilmiş olacağız. Fotonları laser ışınlarının içine toplayabildiğimiz gibi gravitonları da kütle çekim ışınlarının içine toplayabiliriz.

Kütle çekimi evrendeki herşeyi bir arada tutar. Cisimler arasındaki kütle çekimi çok güçsüzdür. Etkileşime neden olabilirler mi?

Dolanıklık etkileşimi

Uzaktaki bir cisime bulunduğum yerden dokunmam mümkün mü? Benimle derinden bağlantılı benden bir parça uzaktaki o cismin yanında olsa, o cisime ben dokunabilirdim. Müdahele ederdim. Evrende böyle bir güç mevcut olabilir mi?

Dolanıklık, birbirleri ile etkileşim içinde olan iki atom altı parçacığın enteresan bir şekilde birbirleri ile iletişimde olması anlamına gelmektedir. Öyle ki birinin ölçülmesi diğerinin quantum halini değiştiriyor. Quantum dünyasının parçacıklarının davranışları önceden tahmin edilemez. Birçok olası yönde hareket edebilirler ve titreyebilirler. Bu özellikler ölçüldüğünde rasgele sonuçlar alınır. ***Quantum teorisine göre iki parçacık dolanık olduğunda bir şekilde birbirleri iletişim halindelermiş gibi davranıyorlar***. İki parçacığımız var; üzerlerinde ölçümlemeler yapıldığında sonuçlar rastlantısal, fakat aynı. İki rastlantısal olay nasıl hep aynı olabilir? Enteresan olan dolanık parçacıklar birbirlerinden ne kadar uzakta olurlarsa olsunlar iletişim halinde kalmaya devam ediyor gibi görünüyorlar. Aslında bu nesnelerin birbirlerini etkileyebilmek için birbirlerine yakın olmaları gerekiyor. Buna fizikte yerellik denir. Bir cismi itersem yanındaki diğerleri de etkilenir. Dolanıklık yerel değil gibi görünüyor. Bu da mesafenin anlamsız olduğu anlamına geliyor.

Mekansızlık, yanyana cisimler kendi başlarına birbirlerini etkilediklerinde, uzaklardaki bir cisim de bu etkiden etkilenebilir. Güçlü bir lazer sisteminde foton çiftler yaratılırsa ve fotonlardan biri merkezde tutulur, diğeri 5km uzaklıktaki ölçüm istasyonuna gönderilirse; dolanık fotonlar birbirlerinden uzağa gönderildikten sonra ikisi de aynı anda ölçülündüğünde aynı rastlantısal durum gözlenir. Parçacıklar uyumlu cevaplar veriyor. Aradaki mesafenin önemli olup olmadığı belirlemek için aradaki mesafe artırılırsa; mekansızlık teorisi doğru ise dolanık parçacıklar evrenin neresinde olursa olsunlar aralarında anlık bağlantı bulunmaktadır.

Anlık bağlantı fizik kanunlarına karşı geliyor gibi görünüyor. Einstein, quantum mekaniğini iki sebepten dolayı her zaman eleştirirdi. İlki bağımsız olayların rastgele oluşu; diğeri ise dolanıklık. Mekansızlık ile birlikte ışık hızından daha hızlı bir iletişim kurulması enteresan... Açıklaması zor, evrendeki iki şey birbiri ile bağlantılı. Dolanıklık anlık bağlantı kurmaktadır.

Birbirinden uzakta iki yer açıklaması zor bir şekilde birbirleri ile bağlantılı olabiliyor. Uzaklardaki bilinmeyen bir güç hayatımızı ya da olayları etkileyebilir mi? Atom altı parçacıklar bunu yapabiliyorsa; vücudumuzu oluşturan atom altı parçacıklar anında erişebilen bağlantılar kurabiliyorlarsa ve güç verebiliyorsa neden kendi başımıza

yapmayalım. Eğer gizemli bir güç evrendeki uzak noktaları birbirine bağlayabiliyorsa, bizim anlamımız ne?

Her an meydan gelebilen quantum olayları dört bir yanımızda. Hava durumuna bakıldığına %70 yağmur ihtimali var denir. Quantum dünyası tam olarak anlaşılamıyor olabilir. Bunun nedeni ise onun rastlantısal oluşudur. Çünkü quantum dünyasının dolanık olabilen rastgele parçacıkları birbirleri ile anlık bağlantılar kuruyorlar. Dolanıklığın bir çeşit gizli bağlantı olduğu anlamına geldiğini biliyoruz. Bu fizik kurallarına göre tanımlanamayan bir bağlantı. Bizler ışık hızından daha düşük hızlarda iletişimi zar zor yapabilirken evren bunu anlık yapıyor. Kablosuz iletişimde gönderdiğimiz sinyalin izleyeceği güzergahı ve varacağı alış noktasına ne kadar zayıflayarak erişebileceğini biliyoruz. Ancak, quantum mekaniğinde böyle bir güzergah kavramı yoktur. Quantum parçacıklarının güzergahlarının kayıt edildiği ünlü deneyin adı çift yarık deneyidir. Bu deneyde ışık bir çift yarığa doğru hareket ederse ışığın herbir parçacığından; herbir fotunundan sol ya da sağ yarığı seçmesi beklenebilir. Fakat foton ikisini de seçiyor gibi görünüyor. Fotonu izleyemeyiz. Bir nesneyi görebilmeniz için üzerine ışık tutulması gerekir. Görmeye çalıştığınız şey bir ışık parçacığı ise baktığınız şeyi yok edersiniz. Klasik quantum mekaniğine göre bağımsız parçacığa hangi yarıktan geçmesi gerektiğini söyleyemeyiz. Bir yerden bir yere nasıl gideceklerini söyleyemeyiz. Sadece ve sadece onların nerede son bulacaklarını dair olasıkları söyleyebiliriz.

Her ne kadar öngörülebilir yollarda dolaşıyorsak da aslında rastgele etrafda dolanıyor gibi görünen parçacıklardan oluşuyoruz. Ya da quantum teorisi bizden buna inanmamızı istiyor. **1952 yılında David Bohm adında bir fizikci, yanlızca uzaktaki kuvvetlerin quantum parçacıkların güzergahlarını etkilediği kabul edilirse, onların öngörülebilir yollarda ilerleyebileceklerini öne sürdü.** Bu görüşü araştırırken dolanıklık denen uzaktaki kuvvetin parçacıkların nasıl hareket ettiğine dair daha mantıklı açıklama sunup sunmayacağını görmek adına çift yarık deneyini yeniden yaptı. İki parçacık dolanık olduğu zaman biri diğerini harika bir şekilde yansıtır. Yani biri diğerinin ne yaptığını söyleyebilir. Ne yapabileceğini söyleye bilir mi? Yol ayrımında hangi yöne gideceği tahmin edilemeyebilir. Ancak dolanık olduğu parça izlenerek onun hangi yöne gideceği tahmin edilebilir. Fakat hangi yöne döneceğini bilmek bile bazen sizi yanlış yönlendirir. Günün sonunda önemsenecek olan rastlantısallık mı, yoksa kavşaktan sonra gerçekleşen bir şey mi? Dolanıklık teorisine göre, yol ayrımı takip edilemez olsa bile, her an tam olarak nerede olduğu ölçülemez olsa bile şu an nerede olduğuna dair, biraz sonra nerede olacağına dair biraz bilgi edinilebilir ve bir güzergahın yönü belirlenebilir. Foton, gideceği yöne doğru hareket ettiğinde onun dolanık ikizi izlendiğinde. Sadece onun diğer fotunun nereye gittiğini söylemez. Diğerinin gözergahını da etkiler. Sanki görünmez bir kuvvetle birbirlerine bağlılarmış gibiler. İki parçacık bizim gördüğümüze benzer bir güzergah oluşturmak için işbirliği yaparlar. Dolanıklık teorisine göre dolanık parçacıkların daima birbirlerini etkiledikleri bilinmektedir. Dolanık bir parçacığın ne yaptığını bilmek için diğer dolanık parçacığın ne yaptığının bilinmesi gerekmektedir. Bir parçacığa müdahale edildiğinde ve güzergahında yönlendirme yapıldığında diğerinin de güzergahının yönü tahmin edilebilir.

Uzak mesafedeki bir insan ile iletişim kurmak istediğimizde bizi birbirimize bağlayacak bir alt yapı olmak zorunda. Bu bir telefon hattı ya da kablosuz haberleşme sistemi olabilir. Fakat dolanıklık bu şekilde çalışmıyor gibi görünüyor. Sadece oluyor. Ortada bir telefon hattı yok. Ya da var da biz mi göremiyoruz?

Solucan delikleri

Quantum mekaniğinde anlık bağlantılar her yerdedir. Mesafe ve zaman bizim için temel kavramlardır. Evrendeki herşeyin uyması gereken kurallar dizisi. Bir yere girmek için belirlenmiş yollar takip etmek zorundayız. Daha hızlı bir yol nasıl olabilir ise hep arayışımız olmuştur. Solucan delikleri iki uzak yeri birbirine bağlar. Aralarında ışıktan daha hızlı hareket edebilir. Solucan deliklerinin var olduğuna dair kesin bir kanıt olmamasına rağmen aynı tür bağlantı iki parçacığı birbirine bağlamaktadır. Solucan delikleri ve quantum dolanıklığı birbirlerine çok benzer. Solucan delikleri dolanık parçacıkların iletişim kurdukları gizli yollar olabilir. Eğer bu bağlantılar mevcut ise evren bunlarla dolu olabilir.

Evrenin ilk zamanları erimiş sıcak bir kütle gibi düşünülebilir. Genişledikçe ve soğudukça bizim gördüğümüz uzay şekil almaya başladı. Bizim deneylediğimiz evren bir kürenin yüzeyine benzer. İçinde ya da dışında hiçbirşey yoktur. Olağan tanım bu şekildedir. Evren başlangıç bükük, sıcak ve yoğundu. Parçacıklar ile doluydu. Bunlar birbirleri ile etkileşime geçtiklerinde mevcut farklı parçacıklar arasında dolanıklıklar, quantum bağlantıları meydana getirdi. Evren genişlemeye başladığında bu bağlantılar kopmadı, izler bıraktı. Solucan delikleri her yerde ise neden varlıkları görülemiyor. Aslında görülüyor... Dolanıklık olan parçacıklar arasındaki bağ solucan delikleri olma olasılığı yüksektir. Çevremiz ve ötesinde evren gizli bağlantılarla dolu olabilir. Yeni bağlantılar da oluşuyor olabilir.

Kütle çekimi solucan deliklerini yaratabilir mi? Nerede? Evrenin en karanlık yerlerinde... Evrende birbirinden farklı iki güç iş başında**. Kütle çekimi uzak galaksiler arasındaki alanı bükerken; dolanıklık mevcut olmayan alan ya da mevcut olmayan mesafe gibi hareket eder.** Kütle çekimi ile quatum dolanlık aynı şeyin göstergeleri olabilir mi? Ana bir kuvvet mevcut olabilir mi? Bunun için öncelikle uzay boşluğunun neden oluştuğunun anlaşılması gerekmektedir. Uzay boşluğunun içinin enerji ile dolu olduğu düşünülebilir.

Quantum çekim döngüsü teorisi, hiçbir şey kesinlikle hiçbir şey dir. Quantum çekim döngüsündeki temel fikir, uzay boşluğunun küçük quantum hiçlikler dizilerinden oluştuğudur. Bu dizilerin boyutu inanılmaz derecede küçüktür. Bir elektrondan bir protondan ya da bildiğimiz diğer parçacıklardan kat be kat küçüktür. Bir başka birşey bundan daha küçük parçacığa çökemiyeceğine inanılmaktadır. Evrende kütle çekim kuvveti birşeyleri hiçbirşeye kırdığı söyleniyor.

Karadelikler dev yıldızların yakıtları tükendiğinde oluşurlar. Nükleer patlamanın dış baskısı olmazsa kendi kütle çekim kuvvetlerinin altına çökmeye başlarlar. Kara deliğin

etrafında kütle çekim kuvveti o kadar güçlüdür ki, ışık bile kaçamaz; bu nedenle buna kara delik denir. Birçok bilim insanı maddenin kara deliğin içerisinde boyutlandırılamayacak ölçüde kırıldığını düşünür. Fakat uzay kırılmayan hiçlikler dizisinden oluşuyorsa bu nasıl mümkün olabilir ki... Hurda arabayı baskı kuvveti ile sıkıştıran makinenin etkisini düşünün. İlk başta çok etkin olan sıkıştırma kuvveti araba daha da sıkıştıkça daha az etkili hale gelir. Çünkü kütle çekimi farklı. Bu araba yığını sadece kütle çekim kuvvatine bağlı olsaydı, bu araba çöker; gittikçe küçülür, küçülür; o kadar çok küçülürler ki, sonsuz yoğunluk noktası olur. Tekillik denen küçülme sonucunda sonsuz yoğunluk noktası oluşur. Tekillikler gerçekse bağlantı kurmak için harika yerler olurlardı. Tekilliğin içerisindeki birşeylerin arasındaki mesafe azalmıyor. Herşey herşeyin üzerine biniyor. Mesafe ve zaman varlığı tamamen yitiriliyor. Bu anlatılanlar, gerçekten karadeliğin içerisinde olabiliyor mu? Bir karadeliğin içine düşüldüğünde kütle çekim kuvveti o kadar güçlü hale gelirki, içindekileri paramparça eder. Klasik fizik kanunlarını yıkar. Buna rağmen tekillik inanılmaz derecede küçük bir alan olduğu için quantum kütle çekim kuvvetinin devreye girmesi gerektiği bilinmektedir.

Karadelikler herşeyin rahatsız edici bir şekilde birbirine yakın olduğu evrenin palyaço arabalarına benzer. Quantum çekim kuvveti zamanla karşılaştığında bazı garip şeyler yaşanabilir. Karadeliğin içerisinde kütle çekim kuvveti daha güçlü ve alan ise daha sıkılaştırılmış hale gelir ve sistem yeni bir evrene açılan geçit noktası oluşur. Bir olayın mekanda veya zamanda değişmediği sistemde, sistemin girişindeki kütle çekim kuvveti ve sıkılaştırılmış alan oluşursa sistemin çıkışında değişimin oluştuğu yeni bir geçit oluşur.

Eski evren ile yeni evren arasındaki geçite solucan deliği denir. Tekillik görünen yerler solucan deliğine dönüşüyor. Başka bir evrene açılan gizli bir kapı. Kütle çekimi birşeyleri birbirine yaklaştırırken aynı zamanda dolanıklığın yaptığı şeyi de yapıyor. Uzaktaki yerler arasında bağlantı kuruyor olabilir mi? Bu teoriye göre dolanıklık ve kütle çekimi herşeyi birbirine bağlayan evrene bir çok başka kuvvet ekleyen tek bir kuvvet gibi birlikte hareket ediyor olabilirler.

Evrendeki galaksilerin içerisindeki kardeliklerin içerisinde birbirlerine solucan delikleri ile bağlanan yeni bir evren olması oldukca muhtemeldir. Evrende milyarlarca gezegen olsa da hepsi tek bir ana güç ile birbirine bağlıdır.

2. Quantum Mekaniğinin Temelleri

Her gün deneyimlediğimiz dünyayı tanımlayan fizik, "klasik fizik" olarak adlandırılır. Nesnelerin birbirleriyle nasıl etkileşime girdiğini açıklar. Güneş sistemindeki gezegenlerin hareketi, bir arabanın hızlandığındaki davranışı, bilardo oynandığında ne olduğu veya elektronik devrelerin nasıl çalıştığına açıklamalar getiren klasik fizik, Galileo, Newton ve diğerleri tarafından keşfedilen ve ölçülen bir dizi kurallardan oluşur.

Makro ölçekteki dünyayı açıklamak için kullanılan Newton mekaniğinin mikro ölçekte evreni anlamaya geldiğimizde yetersiz kaldığı görülür. Klasik fizik insanın dışarıdan gözlem ve ölçüm yaptığı bir bilimdir. Klasik fizik, son derece başarılı bir doğa teorisidir ve Ay'a adam gönderilmesi, köprüler, gökdelenler, süpersonik jetler inşa edilmesi, kablosuz iletişim geliştirilmesi gibi şaşırtıcı insan başarılarına yol açmıştır. Klasik fiziğin tanımlandığı dünyadaki gerçeklikte gördüğümüzden ve deneyimlediğimizden çok daha fazlası vardır. Doğanın nihai tanımı olmadığıdır. Atomların ve atomaltı parçacıkların (protonlar, nötronlar, elektronlar) davranışlarını klasik fizik yasalarını kullanarak tanımlanmaya çalışılırsa, başarısız olunur.

Elektronların bir atomun çekirdeği etrafındaki hareketini klasik prensipleri kullanarak tanımlanırsa, herhangi bir atomun saniyenin çok küçük bir kısmı içinde çökeceği hesaplanabilir. Atomaltı parçacıklar dalga gibi davranırken, dalgalar parçacıklar gibi davranır ve bariyerlerden tüneller açar. Ortamı bozmadan ölçüm yapmak imkansızdır. Quantum dolanıklıkla elektronlar ve fotonlar o kadar güçlü bir şekilde birbirine bağlıdırlar ki, birbirlerinden ne kadar uzakta olurlarsa olsunlar tek gibi davranırlar.

Fiziğin temel alanlarından biri olan mekanikte bir cisme kuvvet uygulandığında yer değiştirir. Newton’un hesaplanabilir evren modülü deterministiktir. Deterministik, her sebebin tek sonucu vardır. Her etkinin tek tepkisi vardır. Newton mekaniği ile bütün evren hesaplanabilir hale gelmiştir.

Fiziğin temel alanlardan bir diğeri ise maddeyi oluşturan temel yapı taşı atomdur. Atom, elementlerin kimyasal ve fiziksel özelliklerini taşıyan, kozmik ve yüksek enerjili maddeler ile anti madde dışında bilinen bütün maddelerin en küçük temel yapı taşıdır. Önceleri maddenin bölünemeyen en küçük parçası olarak bilinirken, tarihi süreç içerisinde yapılan deneysel araştırmalarla kendisinden daha küçük parçacıklardan (atom altı parçacıklar) oluştuğu belirlenmiştir.

Atom altı parçacıklar;
(1) Fermiyonlar (Madde Parçacıkları) ve
(2) Bozonlar (Etkileşim – Enerji Parçacıkları) şeklinde iki ana başlıkta incelenmektedir.

Fermiyonlar, maddenin atom altı ana parçacıkları, bozonlar ise bunlar arasındaki veya evrendeki tüm maddeler arasındaki çekim kuvvetini sağlayıp alan oluşturan etkileşim – enerji parçacıklarıdır. Ferminyon ve Bozonların bazıları gözlemlendi, bazıları kabul edildi. Sözgelimi Tanrı Parçacığı olarak bilinen Higgs Bozun teorik olarak kabul edildi.

Atom çekirdeğinde bulunan protonlar ve nötronlar içerisinde yer alan kuarklar ile çekirdek etrafında dönen elektronlar, şu an kendilerinden daha küçük parçacıkları bilinmediği için atomun temel alt parçacıkları olarak kabul edilmektedirler.

Atomların oluşturduğu en küçük kimyasal bileşkenlere molekül denmektedir. Ayrıca çok sayıda foton adı verilen atom altı parçacıkları da bulunmaktadır;

- Bozon, mezon,
- Fermiyon, baryon, graviton,
- Kuarklar: proton, nötron,
- Nötrino'ları güneş üretmektedir.

Atom altı parçacıklar, atomun çekirdeğinde gelişen reaksiyonlar ile yörüngesindeki elektronların hareket ve etkileşim kabiliyetinden elde edilen bilimsel uygulamaların tümünü kapsamaktadır. Bu bilimsel uygulamalar, **Nükleer ve Elektronik** şeklinde iki alt kısımda incelenmektedir.

Nükleer; atom çekirdeği reaksiyonlarından yararlanmak için geliştirilen bilimsel teknolojik uygulamalardır. Günümüzdeki en önemli nükleer teknolojiler; nükleer enerji, nükleer tıp (nötron terapi, proton terapi vb.), nükleer silah, proton parçacık hızlandırıcılar, nötron kaynak üreteçler ve farklı amaçlara yönelik olarak tasarlanan çeşitli nükleer reaktörler şeklinde sayılabilir.

Elektronik teknolojisi ise; atom çekirdeği etrafında bulunan elektronların hareket ve etkileşim kabiliyetlerinden geliştirilen bilimsel uygulamaları kapsamaktadır. En önemli elektronik teknolojiler ise; elektrik-elektronik, elektron mikroskopları, katot ışını tüpleri, elektron ışın kaynağı, radyoterapi (ışın tedavisi), lazerler, duman dedektörleri (gaz iyonlaştırma sayaçları), elektron parçacık hızlandırıcıları, quantum bilgisayarları ve elektromanyetik dalgalardan yararlanılarak geliştirilen ve yerbilimleri, iletişim, bilişim (bilgisayar tabanlı sistemler, yazılım, donanım, siber güvenlik vb.), savunma, uzay, havacılık, sağlık, tarım, hayvancılık ve sanayi gibi stratejik alanlarda kullanılan sistemler şeklinde sayılabilir.

Fizikte bilinen temel kuvvetler,

- çekim gücü,
- elektromanyetik güç,
- güçlü atom gücü ve
- zayıf atom gücü olarak tanımlanıyor ve bunlar dört doğa gücü olarak anılıyor.

Bunların hepsinin kendi güç taşıyıcı parçacıkları vardır. Prof Feng'in ekibi Krasznahorkay, çalışmasıyla, fizik tarihinde şimdiye kadar bu alanda yapılan tüm çalışmaları kıyasladı ve "karanlıktan korkan güç" olarak tanımladıkları X17'nin şimdiye kadar bulunamayan "beşinci güç" olabileceği sonucuna vardı. Deneyleri sırasında elektron ve pozitronların sıra dışı bir şekilde; yaklaşık 140 dereceyle ayrıldıklarını gördüklerini belirten Krasznahorkay, "Yepyeni, daha önce kimsenin görmediği, parçacık fiziğinin Standart Modeliyle açıklanamayacak bir parçacıktan söz ediyordu. Bu yüzden de parçacık mercek altına alındı" dedi. Fizikçiler, şimdi galaksilerin oluşumundan parçacıkların davranışlarına tüm kozmik güçleri açıklayabilecek 'birleşik alan teorisi' yaratmayı umuyor. Ama evren, sırlarını kolay vermiyor. Feng, 'Beşinci güç son güç olmayacak. Altıncı, yedinci, sekizinci güç de olabilir' diyor.

1905 yılında Albert Einstein'ın dalga özellikleri olan ışığın aynı zamanda daha sonra foton diye adlandırılacak olan belirli büyüklükte enerji paketlerinden oluştuğunu açıkladığı çalışmasıyla fenomen hale gelen quantum. "*Quantum dünyasında parçacıklar dalga gibi, dalgalar da parçacıklar gibi hareket eder*." Madde uzayda hareket etmesine gerek kalmadan bir noktadan başka bir noktaya ulaşabilir. Bilgi ise mesafe ne kadar uzak olursa olsun anında hedefe aktarılır. Bu kavramlardan anlatılmak istenen parçacıklar uzayda çok uzak noktalara ışık hızında taşınabilir, karşılaştıkları cisimler ile etkileşime girebilir ve bilgi alış verişi yapabilirler. Tutsak parçacığın davranışsal bilgi birikimlerinden uzayın derinlikleri incelebilir.
Uzayda yayılan atom altı parçacıkların davranışları incelenerek güzergahları hakkında bilgi edinebilir miyiz?

Quantum atom modeline göre; atomun merkezindeki çekirdeğin etrafında bulunan elektronlar, katmanlı elektron bulutları halinde hareket etmektedirler. Buna göre elektronlar hem çekirdeğin etrafınd hem de kendi eksenleri etrafında da dönmekte olup atom çekirdeğinden dışarıya doğru enerji seviyeleri yükselen ve "orbital" adı verilen bulunma olasılıklarının olabileceği yerlerde konumlanmaktadırlar.

Maddeyi ve ışınımı oluşturan atom altı parçacıklar, "Parçacık (Quantum) Mekaniği" bilim dalı içerisinde incelenmektedir. Bu bilim dalı, söz konusu parçacıkların çoğunun (atomu oluşturan parçacıkların dışındakiler) sadece çok yüksek enerjilerde ortaya çıkması sebebiyle "yüksek enerji fiziği" olarak da adlandırılmaktadır. Günümüzde, atomun içyapısının ve özelliklerinin aydınlatılmasına yönelik gelişmiş ileri teknolojiler kullanılmakta ve yapılan deneysel çalışmalarla atom altı parçacıklar teknolojisinden daha ileri düzeylerde yararlanabilme potansiyeli araştırılmaktadır.

Evrende bulunan katı, sıvı, gaz ve plazma hallerindeki bütün maddeler, temel içyapılarına doğru; bileşik, molekül, atom ve atom altı parçacıklardan meydana gelmiştir. Maddenin temel birimini oluşturan atom, Büyük Patlama (Big Bang) ile evrenin ilk yaratıldığı zamanda (tahmini 13,7 milyar yıl önce) ortaya çıkmıştır. Yapılan değerlendirmelere göre; evrenin yaratılışının ilk birkaç dakikası içerisinde, yoğun ve sıcak kozmik ortamın soğumasına bağlı olarak atomu oluşturan temel alt parçacıklar ortaya çıkmaya başlamıştır. Çekirdeklerin oluşması, soğumaya devam etmesi ve bunların yavaşlayan elektronları çekerek yakalaması neticesinde ilk atom formları gelişmiştir. Bu ilk atom formlarının hidrojen (H) ve helyum (He) olduğu ve yaklaşık 380.000 yılda ortaya çıktığı, gravitasyon (kütle çekimi) kuvvetinin etkisiyle biriken gaz bulutlarının yoğunlaşarak yıldızları ve gezegenleri oluşturduğu, ağır atomların şiddetli yıldız patlamalarıyla (süpernova) ilişkili olarak ortaya çıktığı, gezegenlerin meteorit çarpmalarıyla jeokimyasal kıvam kazandığı ve bu oluşumların günümüzde de devam ettiği belirtilmektedir. Her parçacığın zıt yüklü ve zıt hareketli, fakat aynı kütleli bir anti/karşıt parçacığı bulunmaktadır.

Atom; proton ve nötronlara (nükleonlara) sahip pozitif yüklü bir çekirdek ile etrafında dönen negatif yüklü elektronlardan oluşmaktadır. Çekirdek içerisinde bulunan artı yüklü protonlar ile oldukça düşük negatif yük taşıdıklarından yüksüz (sıfır yüklü) kabul edilen nötronlar içerisinde ise "kuark" adı verilen alt parçacıklar yer almaktadır. Günümüzdeki bilgilere göre; -1 yüklü elektronlar ile +2/3 ve -1/3 elektrik yüklü kuarklar, kendilerini oluşturan alt parçacıkları bilinmediğinden, atomun bölünemez temel alt parçacıkları olarak kabul edilmektedirler. Bunlar hem dalga özelliği, hem de parçacık özelliği göstermektedir.

Quantum mekaniği çok sağlam matematik temelleri üzerine kurulmuştur. Sistemlerin doğası bu matematikle modellenir. Ancak başlı başına bu modelleme quantum mekaniğinin temel kavramlarının çözümlenmesinde yetersizdir. Örnek verecek olursak, Schrodinger'in denkleminde $\psi(x,t)$ bir dalga fonksiyonudur. Bu dalga fonksiyonunun mutlak karesinin, olasılık olduğu ise bir yorumdur. Eğer bu yorumu araştırır ve genel bir çerçeveye oturtmak istersek, o zaman, **quantum mekaniği felsefesi** yapmış oluruz.

2.1. EPR Paradoksu

Quantum mekaniğinin temellerinin Heisenberg belirsizlik ilkesinin formüle edildiği 1927 yılından bu zamana dek ortaya çıkan teorilerde ve kavramlar da, temel ilkelerin anlaşılması bakımından büyük tartışmalara yol açmıştır. Bu tartışmalardan biri A. Einstein, B. Podolsky ve N. Rosen'in 1935 yılında "Doğanın Quantum Mekaniksel Tasviri Tamamlanmış Kabul Edilebilir mi?" başlığıyla yayınladıkları ve Araştırmacılarının adlarının baş harfleriyle "EPR Paradoksu" olarak adlandırılan makalesiyle başlamış olup, hâlen de önemini korumaktadır. EPR makalesi bir fizik teorisinin tamamlanmış kabul edilebilmesi için iki temel koşulu yerine getirmesi gerektiğini söyler. Bunlar;

1. Teorinin doğruluğu
2. Teorinin tamamlanmışlığı

EPR makalesine göre teorinin doğru olarak nitelendirilebilmesi için teorinin deney sonuçlarıyla uyumluluğu göz önüne alınmalıdır. Bu bakımdan quantum mekaniği deneylerle büyük bir uyum gösterdiği için doğru kabul edilir. Teorinin başarısı için gerekli olan diğer koşul olan tamamlanmışlık için ise makalede şu koşul verilmiştir: "Bir fizik kuramında, her fiziksel gerçekliğe karşılık olan bir öge bulunmalıdır."

Fiziksel gerçeklik şu şekilde tanımlanmıştır: "Bir fiziksel niceliğin değerini, dinamik sistemi herhangi bir biçimde bozmaksızın kesinlikle tahmin edebiliyorsak, o zaman, fiziksel gerçekliğin, bu fiziksel niceliğe karşılık olan bir ögesi vardır."

Fiziksel niceliğin kesin bir değerini, dinamik sistemi bozmadan teoride elde edebiliyorsak, o zaman, teoriden hesap ile elde edilen bu kesin değer fiziksel gerçekliğin bir ögesine karşılık gelecektir. Ancak fiziksel gerçekliğin bütün ögelerinin fizik teorisinde karşılıklarının bulunması gerektiğine dair bir koşul ileri sürülmemiştir. Bu nedenle, EPR'ye göre, doğru olan teorinin aynı zamanda tamamlanmış olması gerekmez.

Fiziksel gerçeklik ölçütünün quantum mekaniği çerçevesinde nasıl kullanıldığı şu örnekle açıklanmıştır. Elimizdeki parçacık $\Phi(p)$ fonksiyonu ile gösterilsin. Fonksiyonu; $\Phi(p) = \sum_j a_j \emptyset_j(p)$ şeklinde gösterelim. Bu parçacığın momentumu ölçülmeden önce şu önerme ileri sürülebilir: Parçacığın momentumunun ölçümden sonra p_i değerini alma olasılığı $|a_i|^2$ dir. Ayrıca; $\sum_j |a_j|^2$=1 olduğunu kabul edelim. Eğer alınabilecek birden çok momentum değeri mevcutsa $|a_i|^2$ 1'e eşit değildir. Bu sebepten ötürü fiziksel gerçeklik ölçütü bu durumda kullanılamaz.

Quantum mekaniğine göre, bazı koşullar altında, gerçekleşen deneylerin sonuçların olasılıkları tek bir dalganın işleviyle tarif edilebilir. Bir deneyin sonucunun bazen tek bir tahmini olmadığı biliniyordu. Bu tip bir belirsizlikler, bir ışık süzmesi yarım gümüşlenmiş bir

aynanın üzerine düştüğünde görülebilir. Işık süzmesinin yarısı yansırken diğer yarısı geçecektir. Eğer ışık süzmesinin şiddeti, tek bir foton geçene kadar indirgenirse, quantum mekaniğinde fotonun yansıması veya geçişi tahmin edilemez. Bu etkinin açıklaması o zamanlar Heisenberg'in belirsizlik ilkesiyle sağlanmıştı. Fiziksel nicelikler eşlenik denilen çiftler halinde gelir. Bu tür eşlenik çiftlerinin örnekleri arasında konumu ve farklı eksenler etrafında ölçülen bir parçacığın ve bileşenlerinin devinirliği verilebilir. Bir nicelik ölçüldüğünde ve belirlendiğinde, birleşmiş nicelikler belirsizleşir. Heisenberg bunu ölçümden kaynaklanan bir rahatsızlık olarak açıklamıştır.

1935 yılında yazılmış bir EPR çalışmasında, A ve B olarak adlandırılan iki dolanık parçacığı dikkate alındığında; A parçacığının miktarını ölçüm esnasında, B parçacığının eşleniğinin miktarının hiçbir temas ve karışıklık olmadan belirsizleşmesine neden olur.Temel fikir, bir sistemin içindeki iki parçacığın quantum durumları, her zaman ikisinin ortak durumundan ayrışamaz. Bunun braket yazılımındaki bir örneği şu şekildedir;

$$|\Phi^+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|00\rangle + |11\rangle\right)$$

EPR'e göre bu durumun iki olası açıklaması vardır. Parçacıklar arasında ayrım olsa bile ya aralarında bir etkileşim vardır ya da tüm olası ölçümlerin sonuçları hakkında bilgiler parçacıklarda mevcuttur.

EPR çalışmaları, ikinci açıklamayı, bazı kodlanmış gizli değişkenlerden dolayı tercih etmişlerdir. İlk açıklama, görelilik teorisi ile çelişmekteydi. Daha sonra, quantum mekaniğinin kuralcılığından dolayı tamamlanmamış olduğu sonucuna varıldı, çünkü bu tip gizli değişkenlere quantum mekaniğinde yer yoktur.

Einstein, Poldolsky ve Rosen tarafından da varsayılan konuyla ilgili deneyleri inceleyen Alain Aspect ve grubu gibi fizikçilerin çoğu, quantum teorisinin öngördüğü gibi, EPR'in tercih ettiği “yerel gizli değişken” teorisini Bell eşitsizliklerini ihlal ettiğinden ötürü geçersiz kabul etti.

Quantum mekaniği ve yorumlanması:

1935 yılında yayınlanan "Quantumun mekaniksel tanımı, yerel fiziksel gerçeklikte düşünülebilinir mi?” Einstein ölçümlerle yorumlanarak ortaya çıkanlar dışındaki nesnel fiziksel bir gerçekliğin var olduğu görüşünü protesto etmiş, kendi düşüncesine daha çok uyan nedensellik teorisi için hayatının sonuna kadar mücadele etmiştir. Ancak, Einstein'ın ölümünden sonra, bir EPR çalışmasında anlatılanı andıran deneyler Fransız bilim adamları Lamehi-Rachti ve Mittig tarafından 1976 yılında Saclay Nükleer Araştırma Merkezinde gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler, yerel gerçekçilik fikrinin yanlış olduğunu göstermiştir.

Yirminci yüzyılın başından beri, quantum kuramı, makro ve mikro dünyanın fiziksel gerçekliğini açıklayan birden fazla tekrarlanabilir fizik deneylerinde başarılı olduğu kanıtlamıştır.

Quantum mekaniğinin matematiksel denklemlendirini yorumlamanın nasıl olacağının sorusu farklı felsefi görüşlerden insanların farklı cevaplar vermesini doğurmuştur. Quantum teorisi ve quantum mekaniği belirleyici bir şekilde tek ölçüm sonuçları vermemektedir.

Einstein'ın karşıtlığı:

Einstein, Kopenhag yorumunun en önemli rakibi oldu. Onun görüşüne göre, quantum mekaniği tamamlanmamıştı. Bunu yorumlayan, John von Neumann ve David Bohm gibi diğer araştırmacılar orijinal çalışmada açıkça iddia edilmemiş, rastgele yapılan ölçüm sonuçlarından 'gizli' değişkenleri sorumlu tutmuştur.

1935 EPR makalesi, felsefi tartışmayı fiziksel bir tartışmanın içine sıkıştırmıştır. Araştırmacılar bir ölçümün sonucu olan verilmiş özgül bir deneyde ölçüm gerçekleşmeden önce gerçeklik unsuru denilen bir şeyin gerçek dünyada var olduğunu iddia etmişlerdir. Araştırmacılar, gerçekliğin bu unsurlarının her uzay zamandaki belli bir noktaya ait olduğunu yani yerel olduğunu varsaymaktadır. Her element sadece uzay-zamanın (yani, geçmişin) onun ışık konisinin gerisinde bulunan olaylardan etkilenmiştir. Bu iddialar artık yerel gerçekçilik olarak bilinen teşkil doğası hakkında varsayımlar üzerine kurulmuştur.

EPR makalesi sık sık Einstein'ın görüşlerinin tam bir ifadesi olarak alınmış olsa da, başta Einstein ve Rosen ile Gelişmiş Çalışma Enstitüsündeki görüşmelere dayanarak, Podolsky tarafından yazılmıştır. Einstein, daha sonra Erwin Schrödinger'e "Bu, benim normalde istediğim gibi bir sonuç vermedi, daha ziyade, önemli şey, tabiri caizse, biçimcilik tarafından boğuldu." demiştir. 1936 yılında, Einstein yerel gerçekçi fikirlerinin bir bireysel hesabını sundu.

EPR Makalesi:

Orijinal EPR paradoksu, quantum mekaniğinin bir tahmini olan bir quantum parçacığının konumunun ve devinirliğinin aynı anda bilinememesine meydan okur. Bu meydan okuma, başka fiziksel özelliklerin diğer çiftlerinin genişlemesiyle olabilir.

Orijinal makale, etkileşime geçmesine izin verilen iki sisteme ne olacağını ve bir süre sonra etkileşim kalmadığında neler olacağını tanımlama amacı gütmüştür: A ve B olan iki parçacığın kısaca etkileşimde olması ve daha sonra farklı yönlere hareket etmesi olarak tanımlanabilir. Heisenberg'in belirsizlik ilkesine göre, devinirliği ve B parçacığının tam olarak konumunu aynı anda ölçmek mümkün değildir fakat Kumar'a göre A parçacığının kesin konumunu belirlemek mümkündür. Bu nedenle, ölçümler sonucu A'nın bilinen kesin konumu yardımıyla B'nin kesin konumu bulunabilir. Ayrıca, A parçacığının devinirliği

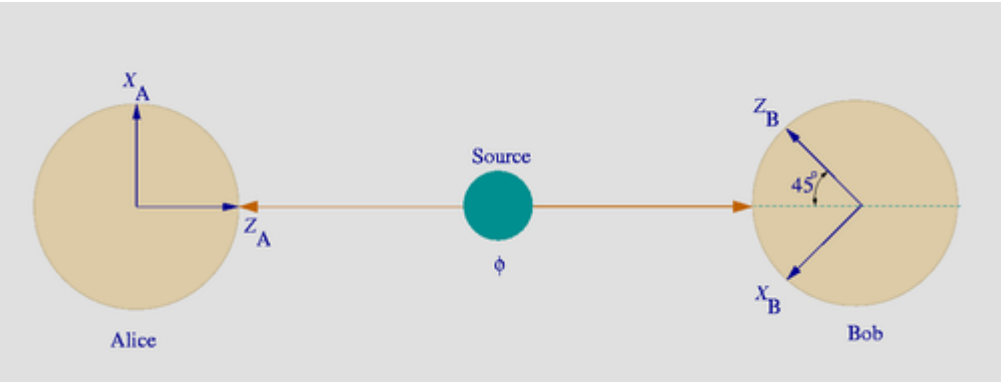
ölçülebildiğinden, B parçacığınınkini de A'ya bağlı olarak bulmak mümkündür. Kumar, bunu şu şekilde yazmıştır; “EPR, B parçacığı eş zamanlı olarak kesin ve gerçek bir devinirlik ve konum değerine sahiptir yargısını kanıtlamış ve savunmuştur.” EPR, B parçacığı fiziksel olarak rahatsız olma olasılığı olmadan, parçacık A üzerinde yapılan ölçümler sonucunda B'nin ya devinirliğinin ya da pozisyonunun kesin değerlerini bulmayı amaçladı.

EPR Quantum Mekaniği gerçek uygulama aralığını sorgulamak için bir paradoks yaratmaya çalıştı. Bu paradoks; Quantum teorisi iki değerin de parçacık için tahmin edilemez olmasını ve henüz EPR düşünce deneyinin hepsinin belirli değerlere sahip olması gerektiğini göstermesini içeriyordu. EPR makalesi: "Biz, fiziksel gerçekliğin quantum mekaniksel tanımının tam olarak dalga işlevleri tarafından açıklanamayacağı sonunu kabul etmek zorunda kalıyoruz.” demiştir.

EPR makalesi şu söz ile sonlanır: Biz böylece dalga fonksiyonun fiziksel gerçekliğin tam bir açıklamasını yapamadığını göstersek de, biz böyle bir açıklamanın var olup olmadığı sorusuna kesin bir cevap bulamadık. Biz böyle bir teori mümkün olduğuna, yine de, inanıyoruz.

Dolanık durumda ölçümler:

Elektron - foton çiftlerini yayan bir kaynaktan A’daki gözlem noktasına elektron, B’deki gözlem noktasına da elektron gönderilsin. Quantum mekaniğine göre, kaynak, yayılan her çiftin tekli fırıl adı verilen quantum durumunu işgal edeceği şekilde ayarlanablir. Böylece, bu parçacıklar dolanıktır diyebiliriz. Bu, durum-1 ve durum-2 olarak adlandırdığımız iki quantum çakışması durumu olarak görülebilir. Durum-1’de, pozitif z ekseninde bir fırılı olan elektron ve negatif z ekseninde bir fırıla sahip foton vardır. Durum-2’de ise, elektron negatif z ekseninde bir fırıla sahipken, pozitif z ekseninde pozitron bir fırıla sahiptir. Bundan dolayı, ölçüm yapmadan tekli fırıl durumundaki bir parçacığın durum fırılını belirlemek mümkün değildir.



Elektron-foton çiftiyle yapılan EPR düşünce deneyi. Merkezdeki kaynak iki gözlem noktasına parçacık gönderir; sol taraftaki A gözlem noktasına elektron gönderilirken, sağ taraftaki B gözlem noktasına foton gönderilir ve fırıl ölçümleri yapılabilir.

Artık, A noktasında *z* ekseni etrafındaki fırıl ölçülür ve +*z* veya -*z* olmak üzere iki muhtemel sonuç elde edebilir. Eğer elde edilen sonuç +*z* ise; quantum mekaniğinin Kopenhag yorumlamasına göre sistemin quantum durumu durum-1'de çöker. Quantum durumu sistemde gerçekleşen her türlü ölçümün sonucunu belirler. Bu durumda, eğer B gözlem noktasında *z* ekseni etrafında sonradan ölçüm yapaılırsa, bulunacak sonuç -*z* ekseninde olur. Aynı şekilde, eğer A gözlem noktasındaki -*z* ekseninde sonuç alınırsa, B gözlem noktasındaki +*z* ekseninde bir sonuç alınır.

Özellikle *z* ekseni seçilmesinin belirli bir nedeni yoktur, quantum mekaniğine göre tekli fırıl durumu *x* eksenini gösteren fırıl durumunun çakışması da eşit olur. Eğer A ve B gözlem noktaları fırılı *x* ekseninde ölçmeye karar verirse, buna durum-1a ve durum-2a denir. Durum-1a'da, A'nın gözlem noktasındaki elektron +*x* fırılına sahipken, B'nin gözlem noktasındaki foton -*x* fırılına sahiptir. Durum-2a'da ise, A gözlem noktasının elektronu -*x* fırılına sahipken, B'nin gözlem noktasındaki foton +*x* fırılına sahiptir. Bundan dolayı, Eğer A'da +*x* ölçülürse, sistem durum-1a'da çöker ve B gözlem noktasında -*x* sonucunu elde edilir. Eğer gözlem noktasında -*x* ölçülürse, sistem durum-2a'da çöker ve B gözlem noktasında +*x* sonucunu elde edilir.

Herhangi bir eksende fırılları ölçülürse, sonuç her zaman birbirlerinin tersi olur. Bu durum, sadece parçacıklar birbirlerine bağlıysa açıklanabilir. Ya her eksende kesin olarak farklı fırıla sahip şekilde yaratılmışlardır (gizli değişken tartışması) ya da birbirlerine bağlılardır ve bu yüzden bir elektron diğerinin eksenin hangi tarafında olduğunu hissediyordur ve onun karşıt sonucunu alıyorudur (dolanıklık tartışması). Ayrıca, eğer iki parçacığın farklı eksenler boyunca fırılları ölçülüyorsa, *x* ekseninde elektron fırılı ölçüldüğünde (ve *x* eksenindeki pozitronun fırılı yok sayıldığında), *z* eksenindeki pozitronun fırılı kesin değildir çünkü ölçüm yerini almıştır ve zaten ikinci bir eksende fırılı mevcuttur. Buna rağmen, deneyler tarafından onaylanan quantum mekaniği hakkındaki varsayımlar, herhangi bir gizli değişken teorisiyle açıklanamaz. Bu, Bell teoreminde gösterilmiştir.

Quantum mekaniğinde, Heisenberg belirsizlik ilkesine göre iki değişken için de quantum durumu kesin bir sonuca sahip olamaz ve bu durum *x*-fırılı ve *z*-fırılı "uyumsuz gözlemlenenlerdir" anlamına gelir. Alice'in z-fırılı ölçtüğünü varsayalım ve bulduğu sonuç +*z* olsun, bu durumda quantum durumu durum 1'de çöker. Şimdi, *z*-fırılını ölçmek yerine, Bob *x*-fırılını ölçsün. Quantum mekaniğine göre, eğer sistem durum 1de ise, Bob'un *x*-fırıl ölçümü %50 ihtimalle +*x'**de olabilir ya da %50 ihtimalle -x***de olabilir. Bob'un kendisi ölçüm yapana kadar, nasıl bir sonuç elde edileceğini tahmin etmek imkânsızdır.

Bu, konunun dönüm noktasıdır. Bob pozitronun *x*-fırılını ölçtüğünde, kesin bir sonuca ulaşabilir çünkü kendi parçacığını rahatsız etmemiştir. Bob'un pozitronu %50 ihtimalle +x veya -x'dedir ve kesin bir sonuç yoktur çünkü Bob'un pozitronu Alice'in elektronunu bilir ve Alice'in elektronu bilinip ölçüldüğü için Bob'un elektronunun spini hakkında kesin bir bilgi elde edemeyiz.

Kopenhag yorumuna göre, dalga işlevi ölçüm yapıldığı zaman çöker ve bu yüzden belli bir uzaklıkta bir etki olmalıdır veya pozitron bilmesi gerekenden daha fazlasını bilmelidir.

Paradoksun özeti:

İlk parçacığın fiziksel ölçümleri kendi konumunda devinirliğe etkisi kesin değildir fakat ilk parçacığın devinirliğini ölçmek öbürünün konumunun kesinliğini etkiler. Einstein, Podolsky ve Rosen, ikinci parçacığın nasıl kesin olmayan konumuna rağmen kesin bir devinirliğe sahip olduğunu sorguladı. Bir parçacık diğeriyle uzayda iletişim halinde olduğundan, bu bir "paradokstur".

Bu arada, Bell, fırılı kendi örneğinde kullandı fakat quantum mekaniğinde gözlemlenebilirler denilen birçok çeşit fiziksel nicelik kullanılıyordu. EPR makalesi, bu gözlemlenebilirlerin devinirliği için kullanılıyordu. EPR planının deneysel gerçekleştirmeleri genellikle foton kutuplaşmasında kullanıyor çünkü kutuplaşmış fotonların hazırlanması ve ölçülmesi kolaydır.

EPR deneylerindeki yerellik:

Yerellik ilkesi, bir yerde meydana gelen fiziksel işlemlerin başka bir yerdeki gerçeklik unsurları üzerinde bir etkisinin olmaması gerektiğini belirtir. İlk bakışta, bu bilgiler nedenselliği ihlal etmeden ışık hızından daha hızlı iletilmeyen bilgileri savunan özel göreliliğin sonuçları hakkında makul bir varsayım gibi görünüyordu. Genellikle nedenselliği ihlal eden herhangi bir teori de içten tutarsız olacağından, yararsız olacağı düşünülmektedir.
Quantum mekaniği ve klasik tanımların birleştirmek için olan olağan kurallar, nedensellik yasasını ihlal etmeden yerellik ilkesini ihlal etmektedir. Nedensellik korunmaktadır çünkü Alice'in Bob'un ölçüm eksenini yönlendirerek mesaj iletmesinin başka bir yolu yoktur. Alice hangi ekseni kullanırsa kullansın, %50 oranında + veya – sonuç elde etme olasılığı vardır ve quantum mekaniğine göre temel olarak hangi sonucu alacağını etkilemesi imkânsızdır. Ayrıca, Bob sadece bir kez kendi ölçümünü yapabilir çünkü quantum mekaniğinin temel özelliği aldığı elektronların milyon tane kopyasını yapmasını, hepsine tek tek fırıl ölçümü yapmasını ve sonuçların istatistiksel dağılımına bakmasını imkânsız kılar. Bu nedenle, eğer sadece bir ölçüm yapmasına izin verilirse, + veya – sonuç bulması Alice'le aynı eksende olup olmamasına bağlı olmadan %50 şansı olduğunu görürüz.

Yine de, yerellik ilkesi fiziksel sezgilere güçlü bir şekilde hitap etmiştir ve Einstein, Podolsky ve Rosen bu yüzden bu teoriyi terk etmek istemiyorlardı. Einstein, quantum mekaniksel

tahminlerle “bir noktada ürkütücü” diyerek dalga geçmiştir. Bu nedenle, quantum mekaniğinin henüz tamamlanmamış olmasıyla sonuçlandırmışlardır.

Son yıllarda ise, EPR'nin ulaştığı sonuç yerellik anlamadaki gelişmelerden ve quantumun elverişli olmamasından şüphe uyandırmıştır. Yerellik kelimesi, fizikte birçok anlama sahiptir. Örneğin, quantum alan teorisinde "yerellik" uzayın değişik noktalarındaki quantum alanlarının birbirleriyle etkileşimde olmamaları anlamına gelir. Ancak, bu anlamda "yerel" olan quantum alan teorileri EPR tarafından tanımlanan yerellik ilkesine aykırı görünmektedir, ama yine de daha genel anlamda yerelliği ihlal etmezler. Dalga işlevinin çöküşü, quantum elverişsizliğinin epifenomeni olarak görülebilir. Temel davranış yerel nedenselliği ihlal etmediğinden, bu gerçek ya da belirgin olsun, dalga fonksiyonu çöküşü ek bir etki yapar. Yukarıdaki örnekte belirtilen nedenle, ne EPR deneyinim ne de herhangi bir quantum deneyinin gösterilmesinin ışık sinyalinden hızlı olması mümkün değildir.

Gizli değişkenler:

EPR paradoksunu çözmek için önerilerden bir tanesi, quantum mekaniğidir, deneysel senaryolarda çeşitli başarılar elde etmesine rağmen, aslında tamamlanmamış bir teoridir. Diğer bir deyişle, quantum mekaniği (bir derece başarılı bile olsa) istatistiksel yaklaşım gibi davranan doğanın henüz keşfedilmemiş bazı teorileri vardır. Quantum mekaniğinin aksine, daha tam bir teori tüm "gerçeklik unsurlarına" karşılık gelen değişkenleri içerebilir. Heisenberg belirsizlik ilkesi, yani "iletmez quantum gözlenebilirlerinin" gözlenen etkilerine yol vermek için bu değişkenler üzerinde hareket eden bazı bilinmeyen mekanizmalar olmalıdır. Böyle bir teoriye gizli değişken teorisi denir.

Yukarıdaki düşünce deneyi için çok basit bir gizli değişken teorisi ileri sürülebilir. Bir kaynaktan yayılan quantum tekli-fırıl durumu doğru fiziksel durum için *x*-fırılı ve *z*-fırılının kesin değeri için yaklaşık bir tanım oluşturur. Bu "gerçek" durumlarda, Bob'a giden pozitron her zaman Alice'e giden elektronun ters fırıl değerine sahip olacaktır, ancak aksi bir durumda değerler tamamen rastgele olacaktır. Örneğin, kaynak tarafından yayılan ilk çift "Alice'e (+*z*,-*x*) ve Bob'a (-*z*, +*x*)" olabilir, bir sonraki çift ise "Alice'e (-*z*,-*x*) ve Bob'a (+*z*, +*x*) "ve benzerleri olabilir. Bu nedenle, Bob'un ölçme ekseni, Alice'inki ile aynı hizada ise, Bob mutlaka Alice ne gelirse tersini alacak; aksi halde, Bob eşit olasılıkla "+" veya "-" alacaktır.

Ölçümlerimizi *z* ve *x* eksenleriyle sınırladığımızı varsayarsak, böyle bir gizli değişken teorisi quantum mekaniğinden deneysel olarak ayırt edilemez. Gerçekte, Alice ve Bob'un kendi ölçümlerini yaptığı sonsuz sayıda eksen olabilir, bu yüzden sonsuz sayıda bağımsız gizli değişkenler olması gerekir. Ancak, bu ciddi bir sorun değildir çünkü biz gizli değişken teorisini çok basit bir şekilde bağıntısal yazdık ve daha sofistike bir teorinin bu konuda yama yapması mümkün olabilir. Bu gizli değişkenlerin fikrinde çok daha ciddi bir sorun olduğunu ortaya çıkıyor.

2.2. Bell Eşitsizliği

Einstein, Podolsky ve Rosen'in 1935'te quantum kuramına yaptıkları *"tamamlanmamışlık"* iddiası, bilimciler ve felsefeciler arasında derin tartışmalara kaynaklık etti. EPR denilen bu düşünce deneyinde quantum kuramının *"yerel nedensellik ilkesini"* zedelediği, ayrıca özel görelilik kuramının hiçbir şeyin ışık hızından daha hızlı gidemeyeceği ilkesini çiğnediği öne sürülüyordu. Araya İkinci Dünya Savaşı(1939-1945) girdi. Konu, ***1951'de Gizli Değişkenler Kuramı adıyla David Bohm tarafından yeniden gündeme getirildi. Birbirine zıt yönde hareket eden iki parçacığın (iki elektron, bir elektron bir pozitron, bir elektron bir foton, iki foton gibi…) hareketlerinde(spinlerinde) gözlenen uyum, quantum kuramının tahmin ettiği bu uyum, nasıl açıklanabilirdi? Bohm'a göre burada gözlemcinin henüz bilmediği "gizli değişkenler" rol oynuyordu ve deney konusundaki yetilerimiz arttıkça bu gizli değişkenler bulunacak, quantum kuramının olasılıkçı yapısı değişecekti.***

Konunun yeniden değişik bir bakış açısıyla ele alınması 1964'te John Bell tarafından yapıldı. Bell, David Bohm'un *"gizli değişkenler kuramının"* yerel olmadığını fark etti. Bu yerellik konusu, çok önemli. Bir şey, başka bir şeyi *"yerel"* ise etkileyebilir görüşünün anlatımı. Yerellik görüşünün öteki ucu, *"Amazon'da kanat çırpan kelebeğin Ariona'da rüzgar yaratabileceği"* görüşü.

EPR deneyini açıklamak için spinlerin her nasılsa başlangıçtan itibaren önceden belirlenmiş olduğunu söylemek akla uygun görünebilir: Yani parçacıklar bir biçimde yola çıktıklarında hangisinin aşağı spinli, hangisinin yukarı spinli olduğu belirlidir. Bu durumda bilgiyi yanlarında taşıyor olacaklarından ne kadar uzağa gittiklerin bir önemi yoktur. Parçacıkların baştan sahip olabilecekleri bilginin sınırları Bell Teoreminde incelenmiştir. ***Bell Teoremi spin ölçümleri önceden belirlenmiş bir yönde değil de, iki parçacık için gelişigüzel açılarda seçilmiş açılarda yapıldığında ne olacağını ele alır. Quantum kuramı, iki parçacık arasında, spinlerini önceden bilmeden de bir tamamlayıcılık ya da korelasyon olacağını öngörür.*** Paris'te, 1982'de Alain Aspect'in yaptığı deneyler de quantum kuramının öngörüsünü doğrulamıştır. Burada yanlış anlaşılan şey, bir parçacığın spinini gerçekten ölçtüğünüz üzerine olan bilgidir. Gerçekten bir parçacığın o noktadaki spinini ölçtüyseniz, ötekini de öngörebilirsiniz. Ama bunu yapamazsınız. Quantum durumlarının süperpozisyonuna ilişkin bir sonuç üzerinde hiçbir denetiminiz yoktur; sonuç bütünüyle rastlantısaldır ve bu sonucu hiç bir sinyal zorla yüklenemez. Daha doğrusu foton fotona emir veremez! Şimdi Bell Eşitsizliği'nin nasıl çıkarıldığının bir örneğini görelim. Birbirine tam karşıt doğrultuda hareket eden zıt spinli iki parçacık düşünelim. Sola doğru hareket edenin spin durumunu E-ölçeri, sağa doğru hareket edeninkini de P-ölçeri gözlüyor olsun. Her ölçerde üç yön seçelim. E-ölçerindeki yönler A, B, C ve P-ölçerindeki yönler de A', B' ve C' olsun. Bu yönlerin bulunduğu düzlemler birbirine paralel ve yönler arasındaki açılar aynı 120 derece olsun. Buna göre A ve A' yönleri ve öteki yönler birbirine paralel durumda. Ölçerler öyle

ayarlı ki A ile A’ zıt sonuçlar kaydediyor(açısal momentumun korunumu gereği). A yukarı spin ya da (+) kaydediyorsa A’ kesinlikle aşağı spin ya da (-) kaydediyor. B ve B’; C ve C’ için de benzer durum geçerli. Her iki doğrultuda zıt sonuçlu yanıtlar kümesi – sekiz olasılık- şöyle olabilir:

E-ölçeri(A, B, C)	P-ölçeri(A’, B’, C’)
+ + ++ + –	– – — – +
+ – –	– + +
– + –	+ -+
– – +	+ + –
+ – +	– + –
– + +	+ – –
– – –	+ + +

Tabloyu dikkatlice inceleyin. Buradan ne gibi sonuçlar yazabileceğimizi görelim. Aynı anda yapılan ölçümlerde A+ ile A’+ elde edemeyiz; ancak A+ ve A’ – ya da A- ve A’+ elde edebiliriz. Benzer şekilde A- ve B’ – elde edemeyiz; ancak A- ve B’ +(ya da A+, B’-) ölçebiliriz.

1964 yılında, John Bell, EPR düşünce deneyindeki quantum mekaniğinin tahminlerinin gizli değişken teorileriyle (yerel gizli değişken kuramlarının) önemli ölçüde farklı olduğunu gösterdi. Kabaca söylemek gerekirse, quantum mekaniğinin diğer eksenlerde yapılan ölçüm sonuçlarının istatistiksel bağıntısı, gizli değişken teorilerindekinden daha güçlüdür. Bu farklılıklar, eşitsizlik ilişkilerini kullanan "Bell eşitsizlikleri" olarak bilinen deneysel saptanabilen prensiplerdir. Eberhard tarafından daha sonraki çalışmalarda Bell'in eşitsizliklerine öncülük eden gizli değişken kuramlarının yerelliği ve karşı-olgusal kesinlik özelliği gösterilmiştir. Bu ilkelerin geçerli olduğu herhangi bir teori eşitsizlikleri üretir. Arthur Fine sonradan eşitsizlikleri tatmin eden herhangi bir teorinin, yerel gizli değişken teorisi ile modellenebilir olduğunu göstermiştir.

Bell'in çalışması yayınlanmasından sonra, Bell eşitsizliklerini test etmek için çeşitli deneyler icat edildi. Bunlar genellikle foton kutuplaşması ölçümlerine dayanıyordu. Bugüne kadar yapılan tüm deneylerin standart quantum mekaniği teorisinin öngörüleri doğrultusunda olduğu bulunmuştur.

Ancak Bell'in teoremi tüm olası felsefi olarak realist olan teoriler için geçerli değildir. Quantum mekaniğinin felsefi gerçekçiliğin tüm kavramları ile tutarsız olması yaygın bir yanılgıdır. Quantum mekaniğinin realistik yorumlaması mümkündür, fakat yukarda tartışıldığı gibi, bu tip yorumlamalar yerelliği ya da karşı-olgusal kesinliği reddeder. Ana fizik, karşı-olgusal kesinliği reddeden gerçekçilik kavramını korumak için uğraş verirken, yerelliği

tutmayı da tercih eder. Böyle genel realist yorumların örnekleri, tutarlı geçmişlerini yorumlanması ve ilk kez 1986 yılında John G. Cramer tarafından önerilen işlem yorumudur. Fine'ın çalışmaları gösterdi ki, yerelliği alarak, iki istatistiksel değişken olan ***karşı-olgusal kesinlikler tutarsız bir şekilde ilişkilidir ve bu tür senaryolar olmasına rağmen, daha gizemli senaryoların verilmesi ile tutarsızlık karşı-olgusal kesinlik 'sezgilerde' görünebilir***.

Yerelliğin ihlalin, özel görelilik ile bağdaştırmak zordur, ve nedensellik ilkesi ile uyumsuz olduğu düşünülmektedir. Ancak, Schrödinger denkleminin şartlarını biri olarak tanımlanan 'quantum potansiyeli' şeklinde bir varsayımı yerel olmayan mekanizması tanıtılırken, quantum mekaniğinin Bohm yorumlanması, karşı-olgusal kesinlikçe tutarlıdır. Bazı bu alanda çalışanlar gerçek deneylerde kaçamakları sömüren gizli değişken teorisini bağıntısal olarak yazmayı denemiştir.

Ayrıca, yerel gizli değişkenleri olmayan bireysel EPR benzeri deneylerin açıklaması da vardır. Örnekler David Bohm ve Lucien Hardy tarafından önerilebilir.

Einstein'ın saf cebirsel teoriye inancı:

Quantum mekaniğinin Bohm yorumlanmasına göre, evrenin durumunun, quantum dalga işlevleri çökmeden zaman içinde sorunsuzca geliştiği varsayılmaktadır. Kopenhag yorumlanması için oluşan sorunlardan biri dalga işlevinin çöküşünün tanımlanmasıdır. Einstein quantum mekaniğinin fiziksel olarak eksik ve mantıksal olarak yetersiz olduğunu ileri sürmüştür. "Göreliliğin Anlamı"nda Einstein, “Birisi neden gerçekliği sürekli bir alanda açıklanamayacağına iyi bir neden versin.” demiştir. Quantum olaylarına bakıldığında, sonlu bir enerjinin sonlu bir sistemi tamamen quantum numaraları denilen sonlu bir dizi rakamla tarif edilebilir. Bu, bir süreklilik teorisi için uygun olarak görülmemektedir ve gerçekliğin temsili için bir cebirsel teori bulma girişimine neden olmaktadır. Ama hiç kimse bu tip bir teori için bir temel bulamamıştır."Eğer zaman, mekan ve enerji Planck ölçeğinde alt tabakadan türetilmiş ikincil özellikleri ise (Bell'in teoremi hala geçerli olsa da), Einstein'ın varsayımsal cebirsel sistemi EPR paradoksunu çözmek için yeterli olabilir. Fredkin'in Sonlu Doğa Hipotezi'nde Edward Fredkin, Einstein'ın varsayımsal cebirsel sistemi için bir bilgi temeli önerdi. Eğer fiziksel gerçeklik tamamen sonlu ise, Kopenhag yorumu Planck ölçeğinde, bir bilgi işlem sistemine bir yaklaşım olabilir.

"Kabul edilebilir teoriler" ve deneyler:

Durumun bugünkü görüşüne göre, quantum mekaniği kesin bir dille kabul edilebilir herhangi bir fiziksel teorinin "yerel gerçekçiliği" yerine getirmesi gerektiğini savunan Einstein'ın yerel felsefi önermesiyle çelişmektedir.

1935 yılında yazılan EPR makalesinde, Araştırmacılar quantum mekaniğinin kendi varsayımları ile tutarsız olduğunu fark etmişlerdir, ama yine de Einstein quantum mekaniğinin sadece gizli değişkenleriyle başka bir değişiklik olmadan, kabul edilebilir bir

teori elde etmeyi amaçlamıştır. 1955 yılında, hayatının sonuna kadar olan yirmi yılda bu fikirleri izlemiştir.
Aksine, 1964 yılında yayınladığı kâğıtta John Bell, quantum mekaniğinin ve Einstein'ın tercih ettiği belirli bağıntılarda $^3/_2$ lik katsayıya sahip gizli değişken teorisinin değişik deney sonuçlarına önderlik edebileceğini göstermiştir.

Alain Aspect'in ve diğerlerinin yaptığı birçok Bell test deneyi bulunmaktadır. Bunlar quantum mekaniğinin tahminlerinden ziyade, Einstein tarafından desteklenen gizli değişken kuramları sınıfını desteklemektedirler.

Quantum mekaniği yorumlar:

Çoğu fizikçi günümüzde quantum mekaniğinin doğru olduğuna ve EPR paradoksunun klasik sezgilerin fiziksel gerçekliğe karşılık gelmemesinden dolayı sadece bir "paradoks" olduğuna inanmaktadır. EPR'nin nasıl yorumlandığı quantum mekaniğinin yorumlarına bağlıdır. Kopenhag yorumuna göre, genellikle ani dalga fonksiyonu çöküşünün meydana geldiği anlaşılmaktadır. Ancak, Kopenhag görüşünde, nedensel anlık bir etkisi olmadığı ileri sürülmüştür: Bu alternatif görüşte, ölçümler sistemin kendisini değil, fiziksel sistemdeki nicelikleri tanımlamamızı etkiler. Birçok farklı yorumlamada, bu tür ölçümlerde işlemlerin etkileri sadece ölçülen parçacığın durumunu etkilediğinden, yerellik kesinlikle korunmaktadır. Ancak, ölçüm sonuçları eşsiz değildir, her türlü sonuç elde edilebilir.

EPR paradoksu, ölçüm sürecinin temelde klasik olmayan özelliklerini açarak quantum mekaniğine olan anlayışımızı derinleştirdi. EPR makalesinin yayınlanmasından önce, bir ölçüm genellikle ölçülen sistemin üzerine doğrudan çarptırılan fiziksel bir rahatsızlık olarak düşünülmüştür. Bir elektronun konumunu ölçerken üzerinde bir ışığın yansıdığının hayal edilmesi ve elektronu rahatsız edip ve pozisyonuna bağlı olarak quantum mekaniksel belirsizlikleri bulmak buna örneklerdir. Quantum mekaniğinde hala popüler olan bu tip açıklamalar, ölçümün parçacığı direkt olarak rahatsız etmeden yapılması gerektiğini gösteren EPR paradoksu tarafından çürütülmüştür. Aslında, Yagil Aharonov ve ortakları Weak ölçümleri olarak adlandırılan bir teori geliştirdiler.

Quantum dolanmasına dayanan teknolojiler günümüzde gelişmektedirler. Quantum şifrelemesinde, dolanık parçacıklar iz bırakmadan ve dinlenilmeden sinyallerin iletilmesinde kullanılmaktadır. Quantum hesaplamasında, dolanık quantum durumu, klasik bilgisayarlardan daha hızlı işlem yapabilen paralel hesaplamaların yapılmasında kullanılır.

Matematiksel denklemler:

Yukarıdaki tartışma, fırılın quantum mekaniksel denklemlendiriminin matematiksel yazılımı olarak ifade edilebilir. Bir elektron için spin serbestlik derecesi her quantum durumu uzayda bir vektöre denk gelen iki boyutlu karmaşık uzay vektörü olan V ile ilişkilidir. x, y,

ve *z* yönünde fırıla karşılık gelen işlemciler, sırasıyla S_x, S_y, ve S_z şeklinde gösterilen, Pauli matrisleri kullanılarak yazılabilir.

$$S_x = \frac{\hbar}{2}\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad S_y = \frac{\hbar}{2}\begin{bmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{bmatrix}, \quad S_z = \frac{\hbar}{2}\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Bu denklemde $\hbar$, indirgenmiş Planck sabitidir (ya da 2π'ye bölünmüş Planck sabiti.)
S_z 'nin özdurumu şu şekilde gösterilebilir;

S_z 'nin özdurumu şu şekilde gösterilebilir;

$$|+z\rangle \leftrightarrow \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad |-z\rangle \leftrightarrow \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

ve S_x 'ninki;

$$|+x\rangle \leftrightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad |-x\rangle \leftrightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

Elektron-pozitron çiftinin uzay vektörü $V \otimes V$'dür (elektronun ve pozitronun uzay vektörünün tansör çarpımı). Fırıl tekil durumu;

$$|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\Big(|+z\rangle \otimes |-z\rangle - |-z\rangle \otimes |+z\rangle \Big)$$

bu denklemde sağ taraftaki iki terim daha önceden durum 1 ve durum 2 olarak tanımladığımız niceliklerdir.

Yukardaki denklemden fırıl tekilinin ayrıca şu şekilde yazılabileceğini görebiliriz;

$$|\psi\rangle = -\frac{1}{\sqrt{2}}\Big(|+x\rangle \otimes |-x\rangle - |-x\rangle \otimes |+x\rangle \Big)$$

yine sağ taraftaki terimler durum 1a ve durum 2a olarak tanımladığımız niceliklerdir.

Bunun nasıl yerel gerçekliği ihlal ettiğini anlamak için, Alice'in S_z veya S_x ölçümünden sonra, Bob'un S_z veya S_x değerinin tek olarak tanımlanmasıdır ve bu "fiziksel gerçekliğin elementi"ne denk gelir. Bu, quantum mekaniğindeki ölçümlerin prensibiyle alakalıdır. S_z değeri ölçüldüğünde, sistem durumu olan ψ S_z'in özvektöründe çöker. Eğer ölçümlerin sonucu *+z* ise, ölçümden hemen sonra sistem durumu ψ'ın dikey çıkıntısına maruz kalır ve şu formu alır;

$$|+z\rangle \otimes |\phi\rangle \quad \phi \in V$$

Fırıl tekili için yeni durum;

$$|+z\rangle \otimes |-z\rangle$$

Aynı şekilde, eğer Alice'in ölçüm sonucu $-z$ çıkarsa, sistem dikey çıkıntıya maruz kalır;

$$|-z\rangle \otimes |\phi\rangle \quad \phi \in V$$

bu, yeni durumun aşağıdaki gibi olduğunu gösterir;

$$|-z\rangle \otimes |+z\rangle$$

Bu, S_z için yapılan ölçümde Bob'un pozitronunun tanımlandığına ve ilk durumda $-z$ veya ikinci durumda $+z$ olduğu anlamına gelir.

S_x ve S_z, kuantum mekaniğinde kesin sonuçlara sahip olamaz. Aralarından biri işlemcilerin değişmemesi unsurunu kullanabilir;

$$[S_x, S_z] = -i\hbar S_y \neq 0$$

Heisenberg belirsizlik ilkesi ile birlikte;

$$\langle \Delta {S_x}^2 \rangle \langle \Delta {S_z}^2 \rangle \geq \frac{1}{4} |\langle [S_x, S_z] \rangle|^2$$

2.3. Kopenhag yorumu

Fizikci Niels Bohr quantum mekaniği ile ilgili görüşler ve ilkeler dizisinde makro ve mikro durumların ayrı fiziksel ilkelerle inceleneceğini belirtir. Fizikte gözlemin rolünün öne çıkarması bir devrim niteliğindedir.

Quantum mekaniğinin başlıca sorunlarından biri, sonucun gözlemci tarafından öğrenilmesinden sonra mı, yoksa cihaz tarafından kaydedilmesinden sonra mı ölçmenin tamamlanmış kabul edileceğidir. Quantum mekaniğinin Kopenhag yorumuna göre, ölçümün yapılmış olduğunun bilinmesi, gözlemcinin ölçmeden önce var olan bilgisel halinde değişiklik yapar. Yani, bilgi azalmasına neden olur. Gözlemcinin bilgisel halini, gözlemcinin ölçüm süreci sonunda edinmiş olduğu deneye dayalı bilgi belirler. Bu bilgi halleri, gözlemcinin bilgisel haline (öznel) bağlıdır. Bahsedilen ilişkiden dolayı, fiziksel gerçeklikte gerçekleşmiş bir hal ile gerçekleşeceği ileri sürülen hal arasına "öznel gözlemci" faktörü yerleştirilir. Bu öznellikten kurtulmak mümkün değildir.

Dünya iki parçaya ayrılır: quantum varlıkları (olasılık dalgaları) ve klasik ölçüm araçları olan gerçek nesneler. Gerçek nesnelerle, sadece bir ölçüm sonucu bulunanlar gerçek kabul edilebilir. Bunun dışında gerçek hakkında hiçbir şey söylenemez. Elimize deney yapmak için bir atom aldığımızda ve bir süre sonra deneyi yapacaksak, atomun hazırlanmasıyla deneyin yapılması arasında geçen sürede, atom hakkında, şu ya da bu doğrudur demek mümkün değildir. Sadece atomu doğrudan gözlemlediğimiz ya da ölçüm yaptığımız zaman anında sistemde "çökme" oluştuğundan, ancak o durumdan sonra gerçeklikten bahsedebiliriz.

Kopenhag yorumu, mikroevrensel quantum sistemleri ve makroevrensel ölçüm aletlerini ayırır. Başlangıçtaki olay veya cisim (elektronun yarıktan geçişi, foton veya atom) klasik kayıt aletleriyle ölçüm gerçekleşen zincirleme reaksiyonla sonuç sabitlenir, yani dalga fonksiyonu geri dönüşümsüz olarak çöker. Gözlemle ya da ölçümle görülen şey rastgele seçimlerin sonucudur. Olacak şeyler seçilemez. Olasılıklar ve ona bağlı belirsizlikler doğanın özünü oluşturur. Quantum genlikleri farklı sonuçların olasılıklarını verir ve ne olacağı gözlem yapıldığı anda sabitlenir. Gelecek, geçmişteki belirli, "belirlenimci" kurallar tarafından tayin edilmez.

Ölçüm ifadesinden yola çıkılarak, gerçekleşeceği öne sürülen fiziksel halin teorik bilgisi, "gözlemcinin bilgisel haline" bağımlıdır. Bilgisel hal öznel bir kavramdır. Gerçekleşeceği öne sürülen halin gözlemcinin ölçme ile edinmiş olduğu deneye dayalı bilgiye dayandırılması nedeni ile kestirim sürecinin "gözlemci bilgi halinden" kaynaklanan öznel bir yanı vardır. Bu nedenle, quantum mekaniğinin Kopenhag yorumu yapılırken, yalnızca "Gözlemci kesin bir öznel gözlem yapmıştır" ifadesi geçerli olabilir. Kopenhag yorumunda öznelliğin dozu biraz artmıştır. Çünkü gözlemci ölçüm yaptıktan sonra, sistemin halini ψM yerine ψMx olarak betimler. Bu hal indirgenmesi olarak bilinen ölçüm sürecidir ve "gözlemcinin bilgisel halindeki değişiklik" olarak da adlandırılabilir.

Bir quantum olayını, "ölçme aleti", "ölçülen tanecik" ve ikisi arasındaki "etkileşme" sürecini kullanmaksızın tanımlamak mümkün değildir. Ölçüm sürecinde "ölçen" ve "ölçülen" şeylerin görevlerini ayrı ayrı tanımlamak mümkün olmadığından, Kopenhag yorumuna göre neyin ölçen, neyin ölçülen olduğunu ayırmak imkânsızdır. Bir nesne (ölçülen) – özne (ölçen) karışımı meydana getirir. Bu bir anlamda, özellikleri öğrenilen şey (ölçülen-nesne) ile bu dinamik özellikleri öğrenen şeyin (ölçen-özne) birbirine karışmasıdır. Bu durum Berkeley'in idealizminin modern yansıması gibidir.

2.4. Momentum

Kütle ve hızın çarpılmasıyla bulunan bir değer olup cisimlerin enerjisinden ortaya çıkan hareketi tanımlar. **Enerjinin aktarılma yönünü gösterir.** Momentum, hareket eden kütlenin bir ölçümüdür, ne kadar harekette ne kadar kütle olduğunu ifade eder. Açısal momentum ile karıştırılmamalıdır.

Örneğin, hareketli bir nesne, yere göre sabit bir noktaya göre seçilen bir gözlem çerçevesinde momentumu olmasına rağmen, kütle merkezine iliştirilen bir gözlem çerçevesinde ise sıfır momentumu vardır.

Bir nesnenin sahip olduğu momentumun büyüklüğe, kütlesi ve o gözlem çerçevesindeki hızının çarpımıdır (P=mV). Fizikte, momentum için kullanılan sembol genellikle kalın **P** harfidir (kalın yazılmasının nedeni vektör olmasındandır.); böylece şöyle ifade edilebilir;

P=m x v
burada **P** momentum, m kütle ve v hızdır.

Newton'un ikinci yasasına göre, bir parçacığın momentumunun değişim hızı, parçacık üzerine etki eden net kuvvetle doğru orantılıdır ve yönü ise bu net kuvvetin yönündedir. Net kuvvetin, momentumdan türetilmesi aşağıdaki gibidir.

$$\sum \mathbf{F} = \frac{\mathrm{d}\mathbf{p}}{\mathrm{d}t} = m\frac{\mathrm{d}\mathbf{v}}{\mathrm{d}t} + \mathbf{v}\frac{\mathrm{d}m}{\mathrm{d}t}$$

Eğer kütle zaman içinde sabitse, türevin ikinci terimi (thrust terimi denir) ($\mathbf{v}\frac{\mathrm{d}m}{\mathrm{d}t}=0$). Böylece şunu yazabiliriz:

$$\sum \mathbf{F} = m\mathbf{a}$$

Ya da daha basit olarak,

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a}\,,$$

burada F'nin net kuvvet olduğu anlaşılmalıdır.

Örnek: yine bir model uçak, 1 kg kütleli, 1 s içinde kuzeye doğru sıfır hızdan 1 m/s hızına ivmelensin. Bu ivmelenme için gerekli kuvvet 1 newtondur. Momentumdaki değişim 1 kg•m/s'dir. Kokpitteki pilot için ise momentumda bir değişim yoktur. İvmelenme sırasında pilotun sırtının koltuğa yapışması, bu itme'ye tepki kuvvetine karşı dengelenmedir.

Yüksek bir yörüngede bulunan bir elektron, normal yörüngesine döndüğünde elektron çok özel özelliklere sahip bir foton (bir enerji parçacığı) yayar. ***Teoriye göre Foton, enerji ve momentuma sahiptir, ancak kütlesi yoktur ve bu kesin sınırlar dahilinde yapılan deneylerle doğrulanmıştır.***

Momentum, kütle ve hızın çarpılmasıyla bulunan bir değer olup cisimlerin enerjisinden ortaya çıkan hareketi tanımlar. Enerjinin aktarılma yönünü gösterir. Momentum, hareket eden kütlenin bir ölçümüdür, ne kadar harekette ne kadar kütle olduğunu ifade eder. Açısal momentum ile karıştırılmamalıdır. Bir nesnenin sahip olduğu momentumun büyüklüğü, kütlesi ve o gözlem çerçevesindeki hızının çarpımıdır (P=mV).

Yüksek enerjili gama ve X ışınlarından, görünür ışıktan, düşük enerjili kızılötesi ve radyo dalgalarına kadar tüm elektromanyetik dalgaların foton enerjileri vardır. Bir nükleer ve kozmik EM radyasyon şekli olan gama ışınları, EM spektrumunda en yüksek frekanslara ve dolayısıyla en yüksek foton enerjilerine sahip olabilir. **Bir fotonun enerjisi radyasyon frekansına bağlıdır (1),**

$E=h \times f$ (1)

bağıntılarına uyar. Burada,
E : enerji miktarı, birimi joule dur.
f: frekans
$h=6.6 \times 10^{-23}$ j/s, Planck sabitidir.

Örneğin,
$f = 10^{21}$ Hz olan bir γ-ışını foton enerjisi nedir.
$E= 6.626 \times 10^{-13}$ Joule = 6.626×10^{-13} Watt-sec
$E= 4.14 \times 10^{6}$ eV= 4.14 MeV. (1 eV= $1{,}6.10^{-19}$ Joule)

Boş uzayda, foton ışık hızında hareket eder ve onun enerjisi ve momenti E=pc ile bağıntılıdır, p momentum vektörünün büyüklüğüdür. Bu m=0 ile relativistik bağıntı izlenerek türetilir. Quantum alan teorisinde, fotonun momentumu dalga boyu λ ve yayılma yönünü belirleyen dalga vektörü ile tanımlanır. Işık hızında ilerleyen bir parçacığın momentumu:

$P = mc$ dir.

Bir parçacığın enerjisi (Einstein formülü):
$E = mc^2 = Pc = hf$

Bir fotonun enerjisi (Planck formülü):
$E = hf$

Foton da bir parçacık olduğu için

$$mc^2 = hf$$

$$m = \frac{hf}{c^2}$$

$$P = \frac{hf}{c}$$

O halde; fotonun momentumu

$$P = \frac{h}{\lambda}$$

Burada,

h: Planck sabiti=6.63 x 10^{-34} J.s

$\lambda = \frac{c}{f}$: parçacığın dalga boyu, metre birimindedir.

C: ışık hızı=310^8 m/sec dir.

k dalga vektörüdür, k dalga sayısı olduğunda

$$k = |k| = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$\omega = 2\pi\upsilon$ açısal frekansıdır.

$\hbar = \frac{h}{2\pi}$ indirgenmiş Planck sabitidir.

Fotonun yayılma yönünde momentumun büyüklüğü için:

$$p = \hbar k = \frac{h\upsilon}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

Spin, içsel açısal momentumdur ve yarı tamsayılı hbar birimlerinde (tümü açısal momentumda olduğu gibi) nicelendirilir. Fotonlar, spin 1/2 olan elektronların aksine spin-1 parçacıklarıdır. ***Foton enerji ve momentumun yanı sıra spin açısal momentumun da taşıyıcısıdır,*** fotonun frekansına bağlı değildir bu nicelik diğerlerinden farklı olarak, fotonun spin büyüklüğü $\sqrt{2\hbar}$ 'dır ve fotonun hareketi boyunca ölçülen bileşen olan sarmallığı (heliccity) $\pm\hbar$ olmalıdır. Bu iki olası sarmallıklar, sağ ve sol fotonun iki olası dairesel kutuplanmasına karşılık gelir.

Elektromanyetik radyasyonun enerji ve momentum için klasik formülleri foton olayları açısından yeniden ifade edilebilir. Örneğin, bir cisim üzerine elektromanyetik radyasyonun basıncı cismin birim alan ve birim zaman başına foton momentumunun aktarılmasından türetilir, çünkü basınç birim alan başına olan kuvvettir ve kuvvet ise birim zaman başına momentumdaki değişimdir.

Özet olarak ışığın foton teorisine göre, fotonlar

- Boş uzayda ışık hızında hareket ederler.
- Sıfır durgun kütleye ve durgun enerjiye sahiptirler. Durağan halde foton bulunmaz.
- Fotonlar $E = \mathrm{h}\upsilon$ ve $p = \frac{h}{\lambda}$ olmak üzere elektromanyetik dalganın dalga boyu ve frekansı ile bağlantılı olan enerji ve momentum taşırlar.
- Işıma absorbe edildiğinde ve yayıldığında oluşurlar ya da yok olurlar.
- Compton etkileşimiı olarak bilinen bir etkileşim içinde elektron diğer parçacıklarla parçacık gibi etkileşirler. (Çarpışırlar vb.) Compton efektinde, parçacıkların değişimi ile saçılan ışığın rengi değişir yani frekansını değiştirir.
- Foton temel bir parçacık olduğundan başka bir temel parçacığa bozunamaz.

Fotonlar çok sayıda doğal süreç sonucunda yayılırlar. Örneğin, bir yük ivmelendirildiğinde senktron (yüklü parçacıkların radyal olarak ivmelenmesi sonucu) ışıması yayar. Diğer bir süreç ise daha düşük bir enerji seviyesine bir molekül, atomik veya nükleer geçiş sırasında, kızılötesinden gama ışınlarına dek değişik enerji fotonların yayımlanmasıdır. Bir parçacık ve onun karşılığı olan bir antiparçacık karşılaşıp yok olduğunda da (örneğin, elektron-pozitron yok olması) foton yayılabilir.

2.5. Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi

Heisenberg'in Belirsizlik İlkesine göre, bir parçacığın momentumu ve konumu aynı anda tam doğrulukla ölçülemez (momentum değişimi = kütle değişimi x hız değişimi). Bir parçacığın konumu ne kadar doğru ölçülürse (yani konumunun belirsizliği ne denli küçük olursa), momentumunun belirsizliği de o kadar büyük olur. Heisenberg ayrıca belirli sistemlerin ölçümlerinin, sistemleri etkilemeden, yani sistemdeki bir şeyi değiştirmeden yapılamayacağını belirtti. Fizikte "Gözlemci Etkisi" olarak bilinen ilkeyi quantum seviyesinde kullanarak quantum belirsizliğinin "fiziksel bir açıklamasını" da yapmıştır. Yani parçacıklara ışık tutularak bakılması bile onların konumlarını ve hızlarını değiştirebilir. Bu nedenle öncelikle dış etkenlerden tamamıyla yalıtılmış bir ortamın varlığı gerekir.

Dolanıklık denen tutsak parçanın ileri - geri hakeketi ile ondan uzaklardaki foton parçacığı arasında var olan ilişkiye, ölçüm metotlarının olumsuz etkisi, olasılık fonksiyonları yardımıyla kestirimsel hesaplanabilmektedir. Olasılık yoğunluk fonksiyonlarındaki doğruluk katsayılarının belirlenmesi iki parçacık arasındaki ilişkinin yanı sıra gidip yansıyıp gelen (kedi gözü) bilginin (Yansıtıcı cismin quantum artıklarının) belirlenmesini sağlayabilmektedir.

Yol kenarlarındaki kedigözlerini (yansıtıcı lensler) bilirsiniz, gecenin karanlığında otomobil farlarının ışığını toplayarak güçlü bir şekilde geri yansıtır ve siz yol kenarında kırmızı, sarı, beyaz parlaklıklar görür ve güvenli ibr şekilde yolunuza devam edersiniz. Quantum radarları da benzer biçimde çok gürültülü bölgelerden gelen küçük sinyal yansımalarının analizinde duyarlılık arttırır.

Quantum dolanıklık; iki veya daha fazla sayıdaki atomaltı taneciğin birbirlerinden uzakta olmasına bağlı olmaksızın birbirleriyle eşzamanlı olarak etkileşebileceğini başka bir deyişle haberleşebileceğini ifade eder. Quantum dolanıklık durumunda paçacıklar arasında klasik olmayan (yani quantum teorisi ile açıklanmaya muhtaç) korelasyonlar vardır. Bu korelasyonlar (yani etkileşimler sayesinde) klasik süreçlerde olmayan amaçları gerçekleştirmek için kullanılabilecek kontrol edilebilir kaynaklar oluştururlar. Quantum dolanıklık kavramının ortaya çıkısına öncülük eden çalışma Einstein-Podolsky-Rosen 1935 makalesidir. Mesela iki farklı sistemden oluşmuş bir bilesik sistemin sahip oldugu quantum durumlarında, altsistemlerin durumları arasında korelasyon varsa iki sistemin dolanıktır.

Dolanık durumlar daha çok elektronlar ve fotonlarla elde edilmeleri yanında atomlar, çekirdekler ve diger iyonlar için de geçerlidir.

Bir fiziksel sistemin durumunu açıklamak için konumunun, hızının, ivmesinin, yönünün ve ona etkiyen ya da ondan etkilenen kuvvetlerin bilinmesi gerekir. Bilgiler sayısaldır ve başlangıç koşulları önemlidir. Bir dinamik sistemin şu anki durumu biliniyor ise, sonraki ya da önceki bir zamandaki durumu da bilinmek istenir. Eğer denklem sistemi bir hareketi temsil ediyorsa, tanımlanan fonksiyon o hareketin yörüngesidir. Farklı başlangıç noktaları farklı fonksiyonlar seçer; yani farklı başlangıç noktaları hareketler için farklı yörüngeler belirler. Bu olgunun, kelebek etkisiyle yakın ilişkisi vardır.

Determinizm, evrenin veya evrendeki olayların ya da bir bilimsel disiplinin alanına giren tüm nesne ve olayların önceden belirlenmiş olduğu, onların öyle olmalarını zorunlu kılan birtakım yasa veya güçlerin etkisiyle meydana geldiklerini ileri süren öğretiye verilen addır. Determinizm, bir fiziksel sistemin şimdiki durumu, önceki durumunun sonucudur der. Bu cümleye bakarak her olay ve hareketi önceden belirlemek mümkündür varsayımında bulunuruz. Determinizmin klasik öğretisini, XVIII. yüzyılda Pierre-Simon Laplace ortaya koymuştur. Laplace'a göre, evrenin bugünkü durumu, önceki durumunun bir sonucu ve bundan sonraki durumunun ise bir nedenidir. Klasik fizikçi açısından, Halley kuyruklu yıldızının 2061 yılında yeniden dünyayı ziyaret edeceğini kesinlikle öngörebilmek ya da gelecek güneş tutulmasının ne zaman olacağını ve dünyanın neresinden en iyi görüneceğini şimdiden şaşmaz biçimde hesaplayabilmek, determinizmin yadsınamaz zaferidir. Determinizmin uygulanabilmesi için, sistemin analitik çözümüne ve iyi belirlenmiş başlangıç koşullarına gereksinim vardır. Çok kolaymış gibi görünen bu iş, gerçekte pek çok sistem için imkansızdır. Bu imkansızlık kaos diye anılan fenomenleri yaratır.

Bir uyduyu Dünya çevresine yerleştirmek istesek, istediğimiz uzaklıktaki bir yörüngeye yerleştirebiliriz. Klasik fizik yasaları, bize kesin öngörme olanakları verir. Örneğin bir roketin ateşlendikten sonra izleyeceği rotayı, bir süre sonra varacağı noktayı kesin olarak hesaplayabiliriz. Roketin hızını ve rotasını etkiyebilecek değişkenleri daha duyarlı ölçersek hesaplarımız daha doğru olur. Gerçekte erişebileceğimiz doğruluğun sınırı yoktur. Klasik fizikte hiçbir şey şansa bırakılmaz, fiziksel davranışlar önceden tahmin edilebilir. Oysa modern fizikte fiziksel davranışlar, olasılıklar açısından öngörülebilir.

Laplace'ın önerdiğine göre, öyle bir bilimsel yasalar takımı olmalıydı ki, yalnızca bir an için evrenin tümünün durumunu bilirsek evrende olup bitecek her şeyi hesaplayabilirdik, örneğin, güneşin ve gezegenlerin bir andaki hızlarını ve konumlarını biliyorsak, Güneş sisteminin başka zamanlardaki durumunu Newton'ın yasalarını kullanarak hesaplayabilirdik. Bu bağlamda belirlenirlik oldukça açık gözüküyor ama Laplace bununla kalmayıp insan davranışları da içinde olmak üzere her şeye hükmeden benzeri yasaların var olduğunu ileri sürdü.

Belirsizlik ilkesi 1927 yılında Werner Heisenberg tarafından öne sürüldü. Quantum fiziğinde Heisenberg'in Belirsizlik ilkesine göre, bir parçacığın momentumu ve konumu aynı anda tam doğrulukla ölçülemez (momentum değişimi = kütle değişimi x hız değişimi). Belirsizlik ilkesini daha da genellenmiş olarak anlatmak istersek şunları söyleyebiliriz. Kökleşik (klasik, deterministik) fizikten ayrı olarak Quantum fiziğinde her fiziksel niceliğe denk gelen bir reel sayı değil, bir işlemci vardır. Bu işlemciler, kökleşik mekanikten ayrı olarak sayısal değerler ile değil matrisler ile temsil edilir. Dolayısıyla, quantum mekaniğinde ölçülen fiziksel niceliğin ölçüm sırası önemlidir. Herhangi iki fiziksel niceliği (örneğin: konum ve momentum) ele alalım. Eğer bu fiziksel niceliklere denk gelen iki işlemci yer değiştiremiyorsa bu iki niceliğin aynı anda ölçülmesi olanaksızdır. Bu durumda kesin sonuçlardan değil, bir ortalama değer yakınlarında dalgalanan değerlerden söz edebiliriz

Bir elektronun yerini tespit edebilmek için dalga boyu kısa olan ışınlara ihtiyaç vardır. Bu ışınlar da enerji parçacıklarından (fotonlardan) ibaret olduğundan, elektrona çarparak onun yerini değiştirirler (Compton Olayı). Elektrona çarparak onu etkilememesi için fotonları çok küçük ve dalga boyu uzun olan ışınların kullanılması gerekir. Bu suretle elektronun hareketinde önemli bir değişme olmayacaktır. Fakat uzun dalgalı ışınlar kuvvetli bir görüntü sağlamadığından, ancak çok belirsiz bir görüntü elde edilir. Şu halde, bir elemanın yerini tespit etmek mümkün değildir. Genel ifadeyle; birbirine bağlı iki büyüklük aynı anda, yüksek duyarlılıkla ölçülemez (birinin ölçülmesindeki duyarlılık arttıkça diğerinin ölçülmesindeki duyarlılık azalır). Enerji-zaman, açısal konum-açısal momentum, konum- momentum bu fiziksel büyüklükler olup, bu iki büyüklüğün ölçüm hatalarının çarpımı Planck sabitine büyük eşittir. Genel olarak, tanecik mekaniği bir gözlem için tek ve kesin bir sonuç öngörmez. Bunun yerine, birtakım olası sonuçlar öngörür ve her birinin ne kadar olası olduğunu söyler. Tanecik mekaniği böylece bilime kaçınılmaz bir bilinemezlik ya da gelişigüzellik öğesi sokmaktadır.

1920'lerde Niels Bohr ve Werner Heisenberg, atomlardan daha küçük (atomaltı) taneciklerin davranışlarının ne dereceye kadar belirlenebileceğini görebilmek için düşünsel (hipotetik) deneyler tasarladılar. Bunun için taneciğin konumu ve momentumu gibi iki değişkenin ölçülmesi gerekliydi. Tanecik ya da parçacık şu anda nerededir? Kütle ve hız çarpımı nedir? Onların eriştiği sonuca göre ölçümde daima bir belirsizlik olmalıydı ve bu belirsizliklerin çarpımı Planck sabitinin 4 pi'ye bölümüne eşit veya ondan daha büyük bir sabit oluyordu. Heisenberg belirsizlik ilkesi diye anılan bu ilkeye göre: bir taneciğini konumu ve momentumu aynı anda tam bir duyarlılıkla ölçülemez. Örneğin bir taneciğin konumunu kesin şekilde belirleyecek bir deney tasarlasak, onun momentumunu duyarlı şekilde ölçemeyiz; momentum belirlenebiliyorsa bu kez de taneciğin konumunu belirleyemeyiz. Basit bir deyişle, eğer bir taneciğin nerede olduğunu kesin olarak biliyorsak, aynı anda taneciğini nereden geldiğini veya nereye gittiğini kesin şekilde bilemeyiz. Benzer şekilde bir taneciğini nasıl hareket ettiğini biliyorsak onun nerede olduğunu belirleyemeyiz. Bir parçacığın momentumunun ya da konumunun ayrı ayrı belirlenmesinde bir sınır yoktur. Ancak

momentum ve konum aynı anda yani aynı dalga fonksiyonu için belirlenmesinde temel bir sınır vardır. Atomaltı dünyada nesneler, daima belirsizliklere neden olmalıydı. Neden böyle olması gerekiyordu?

Hidrojen atomundaki elektronu "görmek" ve hareketlerini "izlemek" istiyoruz. Bir mikroskop kullanmak zorundayız. Mikroskopta görmek istediğiniz en küçük taneciği görebilmek için tanecik boyutu ile ışığın boyutu aynı olmak zorunda. Görünür ışıktan yararlandığımız normal bir mikroskopta görülebilecek en küçük boyut yaklaşık 1000 nm dir. Bir elektron mikroskobunun çözümleme gücü ise yaklaşık 1 nm dir. Elektronu görünür ışıkla göremeyiz . Çünkü görünür ışığı, hidrojen atomuna gönderdiğimizde elektron, atomdan kopup gider; yani görünür ışık hidrojen atomunu iyonlaştırır. Yapabileceğimiz tek şey var: Dalga boyu daha küçük ışık seçmek. Durum yine değişmiyor. Çünkü elektrona çarpan fotonlar, elektronunun atom içindeki "konumunu" ve "hızı"nı değiştiriyor. Ve biz elektronu asla atomdaki gerçek konumunda göremiyoruz. Ayrıca elektrona çarpan foton, elektronun hızını ve buna bağlı olarak momentumunu (kütle ile hızın çarpımını) değiştirir. Biz bu değişmiş olan nicelikle karşılaşırız.

"Heisenberg' in belirsizlik ilkesi, bir sitemin durumunun tam olarak ölçülemeyeceğini, bu yüzden onun gelecekte tam olarak ne yapacağı konusunda kestirimde bulunulamayacağını göstermiştir. Tüm yapılabilecek şey, farklı sonuçların olasılıkları hakkında kestirimde bulunmaktır. Einsten’i o kadar huzursuz eden şey, işte bu şans ya da rasgelelik unsuru idi. Albert Einstein, fiziksel yasaların, gelecekte ne olacağına ilişkin belirli, muğlak (belirsiz) olamayan bir kestirimde bulunulmasına inanmayı reddetti. Fakat, nasıl ifade edilirse edilsin, quantum olayı ve belirsizlik ilkesinin kaçınılmaz oldukları ve fiziğin her dalında onlarla karşılaşıldığı konusunda her tür kanıt vardır." Foto elektrik olayın tam sonuçları, 1925 de Werner Heisenberg' in açıklamasıyla anlaşıldı. Foto elektrik olay, bir parçacığın konumunu tam olarak ölçme olanağı tanıyordu.

Örneğin bir şeyin hareketinin onun ağırlığını etkilemeyeceğine inanılıyordu. Eğer bir topacı döndürür ve tartarsanız ve sonra onu durdurduğunuzda tartarsanız, aynı ağırlıkta olduğunu görürsünüz. Bu bir gözlemin sonucudur. fakat bir şeyi, ondalık basamakların çok küçük bölümlerinde, milyarda bir bölümlerinde tartamazsınız. Biz şimdi biliyoruz ki, dönmekte olan bir topaç, durmakta olan bir topaçtan milyarlardan küçük birkaç bölüm kadar daha ağır gelmektedir. Eğer topaç, saniyede 186.000 mile yakın bir hızda döndürebilirse, ancak o zaman topacın ağırlığındaki artış fark edilebilir duruma gelebilecektir. İlk deneylerde topaç saniyede 186.000 milden aşağıdaki hızlarla çevrilmişti. O durumda dönen topacın kütlesiyle dönmeyen topacın ki tam olarak aynı görünüyordu. Ve birisi, kütlenin asla değişmeyeceği tahmininde bulunmuştu. Her bilimsel yasa, her bilimsel ilke, bir gözlemden elde edilen sonuçların her ifadesi, detayları dışta bırakan bir tür özettir. Çünkü hiçbir şey tüm ayrıntılarıyla ifade edilemez. Topaç örneğindeki adam, sadece yasayı şu şekilde ifade etmesi

gerektiğini unutmuştu; "Bir cismin kütlesi, cismin hızı çok yüksek düzeylere çıkmadıkça fazla değişmez."

Öte yandan dönmekte olan bir topacın kütlesi üzerindeki bu etki çok küçüktür ve bu nedenle de "Oh, bu etki herhangi bir farklılık yaratmıyor" diyebilirsiniz. Fakat doğru olan ya da en azından ardışık süzgeçlerden geçmeyi sürdüren ve çok daha fazla gözlemle geçerliliğini devam ettiren bir yasa formüle etmek, büyük bir zekayı, imajinasyonu ve felsefemizin, uzay ve zaman anlayışımızın eksiksiz bir şekilde yenileşmesini gerektirir. Ben rölativite teorisine atıfta bulunacağım. Rölativite teorisi, ortaya çıkan zayıf etkilerin, daima çok devrimci düşünce modifikasyonlarını gerektirdiğini göstermiştir.

Henri Poincaré 1900 yılında, güneş sisteminin hareketini belirleyen denklem sisteminin çözümünün başlangıç koşullarına hassas bağımlı olduğunu, başlangıç koşullarının asla doğru olarak saptanamayacağını, dolayısıyla güneş sisteminin kararlı olup olmadığının belirlenemeyeceğini gösterdi. Bu öngörülemez durum için “kaos” terimini kullanan ilk kişi de odur.

Fizikçilerin kaos terimine yükledikleri anlam: Başlangıç koşullarına hassas bağımlılık. Bunu ifade eden güzel bir deyim vardır: “Çin’de bir kelebek kanat çırparsa Teksas da kasırga olabilir”. Söylenmek istenilen şey, başlangıç koşullarındaki çok küçük değişim sistemin davranışında çok büyük fark yaratabilir. Davranışı önceden öngörülemeyen dinamik sistemleri ya da onların davranışları kaos olarak nitelendirilir. Çin de kanat çırpan kelebeğin nasıl olup da Teksas da kasırga yaratacağını açıklayan matematiksel modelden çok, Teksas da olan kasırgayı Çin’de hangi kelebeğin hangi kanat çırpışıyla yarattığı ya da yaratacağı bilinmek istenir. Günün birinde kaos bir bilim olacaksa, matematikçiler o kelebeği bulmak zorundadır.

Belirsizlik, nedenini bilememek, sonuçları tahmin edememek, sistemi anlayamamak, herhangi bir fikir yürütememek, sorulara cevap verememek, verilen cevaplarla tatmin olamamaktır.

Heisenberg 1926’da yayınladığı makalesinde “Belirsizlik İlkesi”ni ortaya koymuştur ve bir bakıma Laplace'ın teorisini çürütmüştür. Heisenberg'in ulaştığı sonuç şuydu: Doğada hiçbir partikülün kesin olarak konumu ya da hızı bilinemezdi. Çünkü bilim adamı bir partikülün yerini bulmak için üzerine ışık tutuyordu ve partikül ile ışık dalgası kesiştiği zaman parçacığın konumunu belirleyebiliyordu. Ama bu sırada istenmedik bir sonuç da ortaya çıkıyordu, ışık ve partikül kesişinceye kadar partikülün hızı bilinemeyeceği için partikülün hızı belirsiz bir şekilde değiştirilmiş oluyordu. Bu da partikülün hem hızının hem konumunun aynı anda bilinemeyeceğini gösteriyordu, fiziksel dünyada her zaman bir belirsizlik vardı. Böylece modern quantum fiziği doğdu Schrödinger de aynı olayı şu felsefi soruyla açıklamaya çalışmıştır: “Bir kediyi, radyoaktif bir atom, bir şişe içinde siyanür gazı ve enerji aldığı anda

çalışmaya başlayan bir çekiçle aynı kutuya koyarsan ne olur? Eğer radyoaktif maddeye kedinin kuyruğu değerse çekiç çalışacak, şişeyi kıracak ve kedi ölecektir. Ama eğer radyoaktif madde hareketlenmezse kedi yaşayacaktır. Ama bilim adamı kutuyu açana kadar atom ne hareketli ne de hareketsizdir, iki olasılığın da birleşimidir. O zaman kutu kapalıyken kediye ne olur?”

Schrödinger'in Kedisi olarak bilinen bu teoriyi şöyle yorumlayabiliriz; biz kutuyu açana kadar kedi hem ölü hem de canlıdır, ancak kutu açıldığında iki durumdan birinde ya da diğerindedir, olmak zorundadır. Bu da partikülün, biz konumunu tespit edene kadar nasıl belirsiz, ya da aynı anda iki yerde, olabileceğini açıklıyor. Bu durumda şeytan teorisi geçersiz kılınmış oluyordu, çünkü herhangi bir anda evrendeki parçacıkların yeri belirsizdir ve konumlarını tespit etmek olanaksızdır.

2.6. Schrodinger Dalga Denklemi

Kapalı bir Quantum sistemi, üniter bir dönüşümle tanımlanır. Yani, t1 zamanında sistemin durumu, $|\psi\rangle$ yalnızca t1 ve t2 zamanlarına bağlı olan U üniter bir operatör tarafından t2 zamanında sistemin $|\psi'\rangle$ durumu ile ilgilidir.

$|\psi^{\prime}\rangle = U|\psi\rangle$

U'nun yalnızca $|\psi\rangle$ 'ye ve t1 ve t2'ye bağlı olamayacağı gerçeği, ince ve hayal kırıklığı yaratan bir gerçektir. Daha sonra göreceğiz ki eğer U, $|\psi\rangle$ 'ye bağlıysa, Quantum bilgisayarlar NP(nondeterministic polynomial time) problemlerini kolayca çözebilirler! Kavramsal olarak U'nun bir Quantum bitine uygulayabileceğiniz bir şey olduğunu düşünün, ancak bunu koşullu olarak uygulayamazsınız. Dönüşüm $|\psi\rangle$ 'nin mevcut durumu dikkate alınmadan gerçekleşir.

Dört varsayım, bir fiziksel sistemin davranışını açıklamak için genel bir çerçeve belirtir:

- Kapalı bir sistemin durumu nasıl tanımlanır? - Statik veya durum uzayı
- Kapalı bir sistemin evrimi nasıl tanımlanır? – Dinamikler
- Bir sistemin harici sistemlerle etkileşimleri nasıl tanımlanır? – Ölçüm
- Bir kompozit sistemin durumu, bileşen parçaları açısından nasıl tanımlanır.

Quantum Mekaniği, fiziksel teorilerin gelişimi için bir çerçevedir. Kendi başına fiziksel bir teori değildir. Fiziksel bir teorinin karşılaması gereken dört matematiksel varsayımı belirtir. Quantum Elektrodinamiği gibi gerçek fiziksel teoriler, bir Quantum mekaniği temeli üzerine inşa edilmiştir.

İlk varsayım:
Herhangi bir fiziksel sistemle ilişkili, sistemin durum uzayı olarak bilinen karmaşık bir iç çarpım alanıdır (veya Hilbert uzayı). Sistem, zaman içinde herhangi bir noktada, durum uzayında bir birim vektör olan durum vektörü ile tamamen tanımlanır. Not: Quantum Mekaniği, herhangi bir fiziksel sistem için durum uzayının ne olduğunu belirlemez. Bu, bireysel fiziksel teoriler tarafından belirlenir.

Bir Qubit: Durum uzayı kompleks sayılar ile tanımlanabilen herhangi bir sistem - iki boyutlu kompleks vektör uzayı - bir kübit uygulaması olarak hizmet edebilir.

Örnek: Bir elektron spini.Bazı sistemler sonsuz boyutlu bir durum uzayı gerektirebilir. Quantum hesaplama dersinin amaçları doğrultusunda her zaman sistemlerin sonlu boyutlu bir durum uzayına sahip olduğu varsayılır.

İkinci varsayım:

Kapalı Quantum sisteminin zaman evrimi, Schrodinger dalga denklemi ile açıklanmaktadır: $i\hbar\frac{d\psi>}{dt}=H|\psi>$

Burada, $\hbar$*:* Planck sabitidir; ve H, sistemin Hamiltoniyeni olarak bilinen sabit bir Hermitian operatördür.

Kapalı bir Quantum sisteminin t1 anındaki $|\psi>$ ifadesi, sadece t1 ve t2'ye bağlı olan U üniter bir operatörü ile t2 anında $|\psi'>$ ile ifadesi edilmesidir.

$$|\psi' > \ = \mathrm{U}|\psi >$$

U, Hamiltonian H'den aşağıdaki denklemle elde edilir:

$$U(t_1, t_2) = \exp[\frac{-iH(t_1,t_2)}{\hbar}]$$

Bu ifade, zamanı ayrı olarak ele almamıza ve hesaplama adımlarından bahsetmemize olanak tanır. Üniter işlemler, normu koruyan tek doğrusal haritalardır.

$$|\psi' > \ = \mathrm{U}|\psi >, \|\psi' > \| = \|\mathrm{U}|\psi > \| = \||\psi > \| = 1$$

Üçüncü varsayım:

Bir Quantum sistemdeki bir ölçümün bazı M sonuçları vardır. Quantum ölçümleri, ölçüm operatörlerinden oluşan bir koleksiyon {Pm: m ∈ M} tarafından tanımlanır. Bunlar, sistemin durum uzayına etki eden doğrusal (üniter değil) operatörlerdir. Sistemin durumu | i ölçümden önce, m sonucunun olasılığı.

2.7. Entropi

Isı enerjisinin bir yerden başka yere transfer olmasına ısının ışıma ya da radyasyon yoluyla yayılması denir. Moleküllerin titreşimleri nedeniyle mutlak sıfırdan daha sıcak bütün cisimler sıcaklıklarından dolayı çevrelerine ışıma yaparak etraflarına ısı yayarlar. Isının yayılma yolları iletim, konveksiyon ve ışımadır. İletim, birbiriyle doğrudan temas halinde olan sistemler arasında ısının aktarılmasıdır. İletim ve konveksiyon maddenin taneciklerinin etkileşmesiyle, ışınım elektromanyetik dalgalarla enerjinin yayılmasıdır.

Isınan tüm maddeler sıcaklığına bağlı olarak çevreye elektromanyetik ışıma şeklinde enerji yayar. Sıcaklığı arttıkça bir maddenin yaydığı ışıma miktarı da artar. Ayrıca tüm maddeler elektromanyetik ışımayı soğurur. Güneş'in yaydığı ışıma enerjisi yeryüzü tarafından soğrulur. Elektromanyetik dalgalar boşlukta yayılır. Bu nedenle Güneş Dünya'dan 150 milyon kilometre uzakta olmasına rağmen, Güneş'in enerjisi Dünya'ya ulaşır.

Sıvı ve gaz gibi akışkan maddelerde enerji bir bölgeden başka bir bölgeye konveksiyon (taşıma) yoluyla aktarılır. Akışkanın bir bölgesindeki iç enerjisi yüksek olan tanecikler bütün olarak iç enerjisi daha düşük olan başka bir bölgeye doğru hareket eder. Çünkü sıcaklık arttıkça sıvı ve gazlar genleşir, hacimleri artar. Hacimleri arttığı ve kütleleri değişmediği için öz kütleleri azalır. Sıcaklığı artıp öz kütlesi azalan akışkan yükselir, daha soğuk ve öz kütlesi daha az olan akışkan alçalır.

Fransız bilim insanı, Nicolas Leonard Sadi Carnot (1796 – 1832) ısı ve hareket bilimi olan termodinamik konusunda çalıştı. O yıllarda buhar makineleri sayesinde İngiltere hem askeri hem de ekonomik açıdan büyük bir üstünlüğe sahipti. Çünkü İngilizler buhar gücünü kullanmada uzmalaşmışlardı. Nicolas buhar makinesinin nasıl çalıştığını anlamaya ve bunu Fransanın yararına kullanmak için çalışmalar yaptı. Ona göre ateşli ve buharlı makinlerin nasıl çalıştığını çok iyi anlamak gerekliydi. 1824 yılında yazdığı "Ateşin Hareket Gücü Üzerine Düşünceler" adlı 60 sayfalık kitabında ısı makinelerinin çalışması üzerine tüm temel yasaları ortaya çıkardı. Nicolas, ısının sıcaktan soğuğa doğru akan bir tür su benzeri nesne olduğuna inandı. Bu akışkanlık yararlı işler için kullanılabilirdi. Isı motorunu çalıştırmak için ısı kaynağı ile soğuk ortam arasındaki sıcaklık farkını artırmak yeterliydi. Buhar makineleri yerine sıcaklık ile soğuk arasındaki enerji akışını kullanarak ısı motorlarının çalıştırılacağını keşfetti. Isı makinlerinin yeni bir bilim dalı olması sağlandı, termodinamik. Araba motorları, jet motorları inanılmaz yüksek sıcaklıkta ve verimli çalşıyorlar.

Nicolas ısı motorları konusundaki fikirlerinin dünya üzerindeki inanılmaz etkilerini göremedi. 19 uncu yüzyılın ortalarına dek bilim insanları ve mühendisler farklı enerji türlerini birbirleri ile ilişkilendirmeye çalıştılar. Belirli bir enerji türünden başka bir enerji türü nasıl elde edilebilir? Sözgelimi 30 mililitre suyu bir santigard ısıtmak için gerekli enerji miktarı 12.5

kg'lık ağırlığı bir metre kaldırmak için gerekli olan enerjiye eşittir. Mekanik ve ısı farklı şeyler olsa da ikisi de aynı şeyde birleşiyordu, enerji. Bu fikir termodinamiğin birinci kanunu olarak bilinir.

Termodinamiğin Sıfırıncı Yasası, **"termal denge"** kavramına dayanmaktadır: *"İki ayrı cisim bir üçüncü cisimle ısıl dengede ise birbirleriyle de ısıl dengededir."* Bu ifade, temas halinde olan cisimlerin ısı alış verişinde bulunduklarını ve belirli bir süre sonunda da termal dengeye gelerek aynı sıcaklıklara sahip olacaklarını söylemektedir.

Birinci kanun, enerjinin asla yaratılamıyacağını, yok edilemiyeceğini; bir türden diğerine değiştiğini gösterir. *"Enerji var iken yok, yok iken de var edilemez, ancak bir halden diğer bir hale dönüştürülebilir."* Eğer bir sistem ya da obje enerji kazanırsa bu enerji mutlaka dışardan bir yerden gelmek zorundadır. Enerji türlerinin tümüyle ısıya dönüştüğünü deneysel olarak gösteren Joule, 1840 yılında 1 cal'lik ısının 4,184 J değerindeki işe eşit olduğunu bulmuştur.

Termodinamiğin İkinci Yasası: ***"Enerjinin tamamı faydalı işe çevrilemez, bir kısmı sistemin içsel bütünlüğünü korumak için kullanılır."*** İkinci yasaya göre, herhangi bir süreçte bir sistem ve çevresindeki entropi değişimi ya "sıfır" yada "pozitiftir". Mekanik işe çevrilemeyecek termal enerjiyi temsil eden **termodinamik** terimine **entropi** denilir. Bir sistemdeki düzensizliğin ifadesidir. Termal bir işlem varsa **entropi** ya sıfıra eşit olur ya da pozitif değer alır. Gündelik hayatta sadece **termodinamikte** değil, istatistikten teolojiye birçok alanda kullanılır.

Evrenin entropisi sürekli artma eğilimindedir. Termodinamiğin ikinci kanununa göre ısı, ancak sıcak bir kaynaktan daha soğuk bir kaynağa doğru kendiliğinden akar ve akan ısı miktarının bir kısmını işe çevirmek mümkündür. Bir ısı kaynağından iş üretebilen makinalara **"Isı Makinaları"** denir. İş verilerek bir ortamdan ısının uzaklaştırılmasını sağlayan makinalara **"Soğutma Makinaları"** denir. Isı pompaları ve klimalar da birer soğutma makinalarıdır.

Termodinamiğin ikinci kanunu için en yaygın iki görüş vardır. Bunlar **Kelvin-Planck ifadesi** ile **Clausius** ifadesidir. Kelvin-Planck ifadesine göre, hiçbir ısı makinesi sadece bir ısıl enerji deposuyla ısı alış verişinde bulunup net iş üretemez. Clausius ifadesine göre ise soğuk bir cisimden daha sıcak bir cisme çevreden iş almadan ısıl enerji aktaran bir makine yapılamaz.

Termodinamiğin üçüncü kanunu, mutlak sıfır sıcaklığındaki maddelerin entropisi ile ilgilidir ve esas olarak mükemmel bir kristal maddenin mutlak sıfır sıcaklığındaki (-273C°) entropisinin sıfır olduğunu ifade eder. Bu kanunla entropi için başlangıç değer şartları belirlenir. Mutlak sıfır, bir cismin keyfi olarak yakınlaşabileceği, ancak asla erişemeyeceği bir sıcaklıktır. Laboratuarda 2.0 x 10-8 K kadar düşük sıcaklıklar elde edildi, ancak mutlak sıfıra

ulaşılamadı. Termodinamiğin Üçüncü Yasası şu temel yargıyı ifade etmektedir: *"Bir nesnenin sıcaklığını sonlu sayıda aşamada mutlak sıfıra indirmek olanaksızdır."*

Ondokuzuncu yüzyılda bilim insanları evrendeki enerji miktarının sabit olduğunu çıkardılar. Bir ısı moturunda enerji yaratılmamıştı, aslında ısıdan mekanik işe dönüştürülmüştü. Burada yanıtlanması gereken soru: "Bir enerji türü diğerine dönüştüğünde tam olarak ne olur, daha doğrusu bunu niye yapar?" Termodinamiğin ikinci kanununu geliştiren, Alman bilim insanı, Rudolf Claus (1822-1888), termodinamiğin matematik analizini yaptı. Evrende sabit miktarda enerji olduğunu anlamakla kalmadı; enerjinin çok katı bir kuralı takip ettiğini de gördü. Örneğin ısı şeklineki enerji belirli bir yöne doğru hareker ediyordu. Sıcak bardaktaki suya dokunulduğunda ısı ele geçer ve bardaktaki su soğur. Nesneleri daha sıcak yapmak için başka bir şey yapmak gerekir. Enerji kendi başına bırakıldığında daima yoğun olandan dağınık olana doğru gider. ***Bilim, daima başkalarının gördüğü şeyleri görmek ama kimsenin düşünmediğini düşünmektir.*** Isı kendilğinden soğuk bir vücuttan sıcak bir vücuda akmaz. Claus bunun nedenini düşünmüş. Claus, enerjinin nasıl nakledildiğine yönelik tüm fikirleri bir araya getirmiş matematik bir yapı içine koymuş. Isı sıcak bir bedenden soğuk bir bedene doğru giderken entropi daima artar,

$$\frac{dS}{dt} \geq 0$$

Entropi ısının nasıl yayıldığını veya dağıldığını ölçmeye yarıyor. Sıcak nesneler soğurken entropileri artar. Soyutlanmış bir sistemde bu işlem geri çevrilemez. Evrende entropi sürekli olarak artmaktadır, önlenemez. Bu termodinamiğin ikinci yasası olarak bilinir. Isı veren herşey bir şekilde birbirleri ile bağlantılıdır. Isı veren herşey geri döndürülemez işlemin bir parçasıdır. Bu bir yayılma ve dağılma işlemidir. Entropiyi artırma işlemidir. Victoria döneminde bilim insanları sıcaklığın nakledilebildiğini, taşınabildiğini ve genişleyerek tüm evren yayıldığını göstermişler.

Ondokuzuncu yüzyılın ortasında bir tartışma başladı, entropi tam olarak neydi? Neden hep yükseliyordu? Bu sorulara yanıtı Ludwig Boltzmann (1844 -1906) verdi. Boltzmann diğer bilim adamlarına benzemiyordu. Büyük sanatçılarda gördüğümüz mizaca sahipti. Mantıksal ve analitik düşünüyordu. Matematik dışında müziğe de tutkusu vardı. Harika bir piyanistti. Vargner'in büyük ve dramatik operalarına ve Beethoven'un saf duygusallığına hayrandı. Matematikci olarak gerçekliği tarif etti. Boltzmann'a göre eğer bir nesne sıcak ise atomları çok daha hızlı hareker eder. Dünyaya atomlar açısından bakmak. Bir problem vardı: Küçük bir hacim gazdaki inanılmaz sayıdaki atom nasıl incelene bilirdi? Atomlar sürekli birbirlerine çarpıyor, hız ve yön değiştiriyorlardı ve sayıları çok fazlaydı. Boltzmann çözümü imkansız olan bu problemi çözmenin bir yolu olduğunu gördü. Herbir atomun tek tek hareketlerini anlamaya çabalamak yerine atomların belirli hızlarda belirli yönlende hız alabilecekleri teorisi üzerine çalışmaya başladı. ***Boltzmann kendini maddenin içine nakletti***. Onu tarih

edecek matematiksel yapıyı hayal ederek buldu. Çağdaşları onun fikirlerine inanılmaz bir düşmanlıkla baktılar. Günümüzde atomların varlığı tüm maddelerin küçük parçacıklardan oluşması fikri sorgusuz kabul ettiğimiz bir şey. Fakat Boltzmann'ın döneminde birçok fizikçi bu fikri kabullenmek istemiyordu. Atom nasıl gerçek olarak görüle bilirdi? Atomun varlığına inanmıyorlardı. Boltzmann, evrenin atomik yapı üzerine kurulmuş olabileceğini ve olasılık matematiği ile anlaşılabilir olacağını gördü. Boltzmann, termodinamiğin ikinci kanunlarının atomu açıklayabileceğini gördü. ***Atomların entropinin ne olduğunu ve neden daima artığını açıklayabilecek güçleri vardı***. Bütün nesneler çok daha küçük atom ve moleküllerden oluşuyordu. Sıcak nesnelerin yanlız bırkıldığında ya da soğuk bir ortama temas ettiğinde neden hep soğudunun gerçek sebebini buldu. ***Sıcak metal bir blok düşünün içindeki atomlar sürekli titreşim halindedirler. Atomlar titreşirken kenardaki atomlar enerjilerinin bir kısmını temas halindeki diğer nesnenin atomlarına transfer edeceklerdir.*** Böylece ısı enerjisi yavaş ve çok doğal bir şekilde çevresine yayılacak ve azalacaktır. Boltzman sistemin düzensiz halini hesaplamamızı sağlayan bir dizi formül ortaya çıkardı.

$$S = klogW$$

Bu formüldeki S entropi, k Boltzmann sabiti ve W olayın veya durumun oluşma olasılığıdır. Boltzmann sabiti k= 1.380 658(12) x 10^{-23} J/K = 8.617 385(73) x 10^{-5} eV/K dir.
Bu denklemin anlamı şudur. ***Evrendeki herşeyin karmaşık ve düzensiz olması için derli toplu ve düzenli olmasına göre daha fazla yöntem vardır. Evendeki her şey düzenli halden düzensizliğe doğru hareket eder. Düzensizlik herşeyin kaderi.***

Claus, entropi denen şeyin sürekli artığını göstermişti. Boltzmann entropi'nin aynı zamanda düzensizliğin ölçüsü olduğunu bulmuştur. Entropi her şeyin kötü bir hale geldiğinin açıklamanın teknik bir yoluydu. Ölümünden bir kaç yıl sonra, yaşarken saldırıya uğrayıp aşağılan fikirleri kabul edildi. Onun fikirleri yeni bir bilimsel temel haline geldiler. ***Değişim ve bozulma işlemi kaçınılmaz.*** Entropi yasası da evrenin bir maksimum enerji seviyesine maksimum düzensizlik seviyesine ulaşacağını söylüyor. Evrenin kendisi de bir gün ölmek zorunda.

Eğer her şey bozuluyorsa her şey düzensiz hale geliyorsa nasıl var olduğumuzu merak ediyor olmalısınız. Belki ikinci yasa sayesinde bunların hepsi var olabiliyor.

Düzensiz halden yeni bir düzenli hal nasıl yaratabiliriz. Eski buhar öncüleri motorları keşfettiler, dünyamızdaki bize has dediğimiz şeyleri yarattılar. Araba motorları ikinci kanunu kullanmak için tasarlanmıştır. Motor düzenli dediğimiz yakıt enerjisi ile çalışıyor. Sonra yakıt gaz karışımına dönüşüyor. Çevreye ısı ve ses de yayıyor. Düzenli halden düzensiz hale dönüştürüyor. Motorlar düzensiz halde düzenli hale dönüşümü yaparak tekerlekleri döndürüyor. Vüzudumuzda aynı prensiple çalışmaktadır. Düzenli enerji ile dolu çikolatayı yediğimizde vücudumuz onu işleyecek ve daha düzensiz enerji haline getirecek. Bu sırada

kendine gerekli düzenli gücü sağlayacak. Evrende düzensizliğe doğru giden parçalanmadan yapıcı düzenli sistemler çıkabilir. Buhar makineleri, elektrik santralleri, dünyada yaşam; bütün bunlar evende düzenli halden düzensize gidişinden faydalanılıyor.

2.8. Nedensellik

Sistemin herhangi bir zamandaki çıktısı,

- mevcut zamandakine
- geçmişte girdi değerlerine
- mevcut zamanla birlikte geçmişteki girdi değerlerine bağlıysa, bu sistem nedenseldir.

Diğer bir anlatımla eğer bir sistemin çıkışı, şu anki girişi dâhil olmak üzere önceki değerlerine bağlı ise sisteme nedensel (causal) sistem denir. Tüm gerçek zamanlı fiziksel sistemler nedenseldir; çünkü zaman sadece ileriye akar.

"Bundan sonra, dolayısıyla, bundan dolayı" olarak başlayan cümlede, bir diğerini takip eden bir olay bir önceki olayın gerekli bir sonucu olarak görülür.

A ve B ile ilişkili iki olay için, olası farklı ilişkiler şunlardır:

- A, B'ye neden olursa doğrudan nedensellik;
- B, A'ya neden olursa ters nedensellik;
- A ve B ortak bir nedenin sonuçlarıdır, ancak birbirlerine neden olmazlar;
- A ve B'nin her ikisi de (açık veya üstü kapalı) koşullu C'ye neden olur;
- A, B'ye neden olursa ve B'de A'ya neden olursa çift yönlü veya döngüsel nedensellik;
- A, B'ye neden olan C'ye neden olursa dolaylı neden;
- A ve B arasında bağlantı yoktur; korelasyon bir tesadüf.

Öte yanda bir sistemin çıkışı, girişin sadece o andaki değerine bağlı ise bu sisteme belleksiz sistem denir. Bir sistemin çıkışı, girişin önceki ve/veya sonraki değerlerine bağlı ise bu sisteme bellekli sistem denir. Gecikme, öteleme sinyalin girişi ile ilgili olmadığı durumlar için sistem belleksizdir. Çünkü zamanda gecikme ya da öteleme sinyalin giriş değildir.

3. Quantum Radarı

Geleneksel bir radar anteni, belirli bir uzay bölgesini taramak için mikrodalga ışıma yapar. Mikrodalga ışıma taranan bölgede herhangi bir hedef nesne ile karşılaştığında sinyal geri yansır. Ancak arka plan gürültüsü üreten ve düşük yansıtıcılığa sahip nesnelerin bu radarlar ile tespit edilmesi zordur. Bu nedenle, geleneksel radar sistemleri hayalet uçakları tespit etmekte yetersiz kalmaktadır. Çünkü, bu uçakların elektromanyetik dalgaları emen ve hedef dışına yansıtan özel boyalarla kaplı olan yüzeyleri ve biçimleri vardır.

Quantum radarı, tespit edilmesi zor olan hedeflerin çok daha ayrıntılı bir görüntüsünü sağlayan yüksek tanımlı bir algılama sistemidir. Uçakları, füzeleri ve diğer hava hedeflerini tanımlamak için yeterli ayrıntı sağlayabilen kuatum radarının temeli elektromanyetik dalgaları taşıyan fotonlar ile tutsaklığı (dolanıklılığı ya da bağımlılığı) olan elektronların davranışlarının olasılık matematik temelinde analizine dayanmaktadır.

Elektronu ile birbirine dolanıklıklığı bulunan, foton parçacığı ya da bir enerji parçacığı boşlukta ışırken (yayınım), alt yörüngeye geçen elektron tutsak edilir. Bu tutsaklığın bağı özeldir, sadece kendilerine ait birbirlerini fark etme bağları vardır. Bu bağa dolanıklık denir. Birbirleri arasında çok büyük bir mesafe olsa bile, hiç iletişim imkanı bulunmayan iki parçacık arasında çok önemli korelasyonlar (bağımlılık davranışları) gözlenir. Bunlardan biri üzerinde yapılan bir ölçümün hemen öbürünü de etkilediği görülmüştür. Bununla birlikte tutsak edilen elektronların davranış değişikliği analiz edilirek aşağıdaki sorulara yanıt aranır,

- Bir nesneyle karşılaşıldı mı?
- Nesnenin şekli, konumu ve yönü nedir?

Dolanıklık denilen quantum tutsaklık bağı, iki veya daha fazla atom altı parçacığın etkileşime girmesiyle veya beraber üretilmesiyle fiziksel özelliklerinin birbirine klasik fizik ile betimleyemediğimiz bir şekilde tutsaklık (dolanmışlık) olmasına deniyor.

Bu çalışmada quantum radarların temel prensipleri üzerine bir araştırma yapılmıştır.

Einstein elektromanyetik yayınımını foton olarak adlandırmış ve E enerjisine sahip olduğunu öne sürmüştür (E=hf). Elektronların iletken metal içinde bulunmalarını çekim kuvvetleri sağlar. Eğer fotonların enerji değerleri elektronları metale bağlayan enerjiye eşit ise elektron metalden kopabilir. Metal yüzeyine daha yüksek fekansda elektromanyetik dalga gönderilirse elektronların kopmalarının yanı sıra bir miktar kinetik enerjiye de sahip olurlar.

Quantum fiziğine göre atom altı parçacıklar (elektronlar, fotonlar) yapı itibarıyla birbirlerinin kopyalarıdır. Bu parçacıkları birbirinden ayıran özellikler bulundukları konum ve hızlarıdır.

Parçacıkların bu özelliği quantum fiziğinde **tutsaklık denilen birbirlerine dolanma fenomine** yol açar.

Bir elektronu alır ve bu elektrondan foton üretirseniz boşlukta elektromanyetik dalganın kuvvet taşıyısı olur. Alt yörüngeye geçen elektronu dış etkenlerden tümüyle yalıtırsanız yalnızca birbiriyle etkileşim içinde oldukları için quantum fiziği açısından bulanık bir durum ortaya çıkar, yani spinleri hem yukarı hem de aşağı durumdadır. Bu iki parçacığı birbirinden ayırıp birini milyonlarca kilometre uzağa gönderdiğinizde, bunlardan biri yukarı spinde ise, diğerinin aşağı spinde olduğundan emin olabilirsiniz. Quantum dolanıklık ya da tutsaklık fenomenine göre, tutsak olan yani birbirleriyle etkileşimde olan bu parçacıklar birbirlerinden çok uzakta olsalar bile aralarında oluşan bilgi akışı değişmez. Quantum radar, aralarındaki ilişkinin bilindiği iki parçacığın dolanıklığı analiz edilere boşlukta ilerleyen hatta yansıyarak geri dönen parçacığın değişimlerini tutsak tuttuğunuz paraçaığı gözlemeyerek gözlemleyebilirsiniz. Quantum aydınlatma yöntemiyle denilen quantum radarı ile uzaktaki nesneler ya da gömülü cisimler hakkında bilgi edinilebilir.

Quantum radarı, parçacıkların dolanıklıklığı özelliğinden dolayı boşlukta ilerleyen parçacık olan foton kayıplı ve gürültülü bir ortam tarafından tahrip edildiğinde bile, kalıntı korelasyon verilerini kullanabilen bir yöntemdir. Quantum radarının temel amacı hedef tespitidir. Burada göndericide elektromanyetik sinyal ve rölantide bekleyen (tutsak) olarak adlandırılan ikili sistem hazırlanır. Sinyal gönderilirken, rölantide bekleyen parçacık, parlak arka plan gürültüsünün olduğu bir bölgede düşük yansıtıcı bir nesnenin varlığını araştırmak için tutulur. Sonrasında, nesneden gelen yansıma rölantide bekleyen parçacık ile ortak bir quantum ölçümünde birleştirilir: mevcut nesne veya mevcut olmayan nesne. Bu işlem birçok kez tekrarlanır, böylece tam bir quantum tespiti için alıcıda çok sayıda sinyal-rölanti sistem çifti toplanır. Rölanti sistem ile yansıyan sinyal sistemi arasındaki tutsaklık işlemi süreçte tamamen kaybolabilir. Ancak, bu iki sistem arasındaki kalıntı quantum korelasyonları o kadar güçlüdür ki sadece başlangıç sinyal-rölanti sisteminin tutsaklığı ile yaratılabilirler. Yansıtılan sinyal, tutulan rölanti sistemi ile quantum korelasyonlu olduğu için, detektör tarafından alınan tüm diğer ilişkisiz arka plan termal fotonlar arasında bile ayırt edilebilir. Sistemlerin bu quantum etkilemesi nedeniyle, quantum aydınlatmasının tespiti çok etkilidir. İşte quantum radarı tutsak elektronlar üzerinde bu yöntemle çalışılarak nesneler tespit edebilmektedir.

İki ayrı parçacığa A fotonu ve B parçacığı diyelim. Radar A fotonlarını mikrodalga ışınıyla havaya gönderir. B elektronları ise foton olarak ise sistemde tutsak edilir. A ve B fotonları birbirleriyle etkileşiminden dolayı aralarında bilgi akışı vardır. Bu sayede A fotonlarında meydana gelen değişiklikler, radar sisteminde bekletilen B fotonlarına bakılarak gözlemlenebilir. Yoğun arka plan gürültüsü veya sinyal karıştırma gibi engeller bile A ve B fotonları arasındaki quantum korelasyonlarını yok edemez. Bu quantum etkilemesi

sayesinde radar sistemi B fotonlarına bakarak A fotonlarının ne tür değişikliklere uğradığını gözlemleyebilir ve nesnelerin varlığı, konumları ve kimliğiyle ilgili tespitlerde bulunabilir.

Quantum radarı yoğun arka plan gürültüsü olduğu durumlarda bile radar sistemi kendi sinyalini seçebilecektir. Bu da, hayalet uçakları tespit etmesini ve kasıtlı karıştırma (jamming) girişimlerini filtrelemesini sağlayacaktır. Quantum radar ilginç bazı yeni özellikler de getirebilir. Birincisi, ışınlanmış parçacıklar temas ettikleri yüzeylerle etkileşime girdikleri için hedefin materyalini ve diğer özellikleri tespit edebilirler. Bu sayede radarda çok daha detaylı bir görüntü elde edilebilir. Örneğin bir sahte hedef veya tuzak ile gerçek bir savaş uçağı veya balistik füze ayırt edilebilir. Hatta bu hedeflerin nükleer yük taşıyıp taşımadığı bile belirlenebilir. Bunun önümüzdeki dönemde füze savunma politikalarının belirlenmesi üzerinde önemli bir etkisi olabilir.

Baugh'un makinesi quantum tutsaklık adı verilen bir fizik ilkesine göre foton çiftleri üretiyor. Fotonlardan birinde meydana gelen değişiklik arada çok büyük mesafeler olsa da anında hemen diğer fotona da yansıyor. Quantum aydınlatma olarak adlandırılan bu süreçte, **fotonlar kullanılarak nesneleri izlemek, aslında akıllıca bir kavramdır. Bilinen evrendeki hiçbir şey, tutsak bir sistemde gerçek zamanlı olarak bilgi ileten ışık fotonlarından daha hızlı seyahat edemez.**

Yeni radar cinsi, kanser hücreleri veya gizli kabiliyetine sahip uçaklar gibi düşük yansıtıcılığa sahip nesneleri tespit etmek için mikrodalga ve optik ışınlar arasında quantum korelasyonu kullanan bir hibrid sistemdir. Quantum radar, geleneksel sistemlerden çok daha düşük enerjilerde çalıştığından, NMR taramaları dahil olmak üzere biyomedikalde bir dizi uygulama için uzun vadeli bir potansiyele sahiptir. Cihaz, mikrodalga-optik dolaşma yaratabilir (sinyal yayımı sırasında) veya bir mikrodalga fırını optik ışınlara (nesneden yansıma ışınlarının toplanması sırasında) dönüştürebilir.

Quantum radarların başka bir yararı: çok az enerji yayarlar ve bu nedenle tespit edilmesi zordur. Bütün çağdaş radarlar nesneleri tespit etmek için elektromanyetik radyasyon yayar. Bu radyasyon radarın kendisini tespit etmesini sağlar. Karanlık bir odada el feneri tutan bir sürü insan olması gibi bir şey: el fenerinizi açmak diğer insanları bulmanızı sağlar ancak el feneri ışını doğrudan size geri dönerek varlığınızı ve konumunuzu ortadan kaldırır.

Tespit edilemezlik eksikliği, savaşta belirgin bir taktiksel avantaj sunar. Dost bir quantum radar, bir düşman uçağının uçuşunu kendi varlığını açıklamadan tespit edebilir. Bu, düşman savaş uçaklarının, savunuculara farkedilebilen yerel radarları ve radyo sinyallerini savunmadan sıkışmalarına neden olabilir. Koruculari, daha sonra dost hava savunma füzeleri ve onları bekleyen savaşçılar tarafından pusuya düştüler.

Teorik olarak, iki karışık durum arasındaki özel ilişki, mesafenin ne kadar uzakta olduğu önemli değil. Bunlardan biri manipüle edildiğinde, diğeri hemen karşılık gelen duruma geçecektir. Dolaşan tanecikler üzerinde yapılan pozisyon, momentum, spin, polarizasyon gibi fiziksel özelliklerin ölçümlerinin uygun şekilde ilişkili olduğu bulunmuştur. Örneğin, toplam spinlerinin sıfır olduğu bilinen bir şekilde bir çift partikül üretilirse ve bir partikülün belirli bir eksen üzerinde saat yönünde dönüşe sahip olduğu bulunursa, o zaman diğer partikülün dönüşü aynı ölçüldüğünde ölçülür. Eksen, quantum ölçümünün yapısından dolayı saatin tersi yönünde bulunur. Bununla birlikte, bu davranış paradoksal etkilere yol açmaktadır: herhangi bir partikül özelliğinin herhangi bir ölçümü, o partikül üzerinde etkili olarak görülebilir (örneğin, üst üste binmiş bir durumun çökmesiyle); ve dolaşmış tanecikler söz konusu olduğunda, bu tür bir işlem dolaşmış sistemde bir bütün olarak yapılmalıdır.

4. Elektromanyetik Işıma

Radyasyon denilen elektromanyetik ışıma, dalga ve parçacık olarak adlandırılan elektromanyetik yayınım yapan enerjidir. Parçacık radyasyonu, belli enerjiye sahip çok hızlı hareket eden minik parçacıkları ifade eder. Dalga tipi radyasyon ise belli bir enerjiye sahip ancak kütlesiz elektomanyetik enerji yayan dalgalardır. Görünür ışık dalga tipi radyasyonun bir çeşididir. Bütün dalga tipi radyasyonlar ışık hızıyla hareket ederler. Gözlerimizin fark edebileceği en yüksek enerjili ışık mor renkli ışıktır. Radyasyonun enerjisi arttıkça ışık rengi görünür ışıktan mor renk ötesine gider ve morötesi olarak adlandırılır. Morötesi ışığı göremez veya hissedemeyiz, ancak ortamda mevcuttur ve eğer şiddeti büyükse ciltte bırakacağı güneş yanığına benzer yanık izleri ile varlığı hissedilir.

Atomların kararlı hallerindeki elektronları, çekirdek etrafında dairesel yörünge izlerler. İletkenlerdeki atomların son yörüngelerindeki, yüksek enerji düzeyinde bulunan elektronlar hareket halindedirler. Antenlerde ise iletkenlerin son yörüngesindeki atomların ektronları, iletkenin sonuna geldiklerinde boşluğa transfer olamazlar. Kararsız atomların kararlı hale gelebilmeleri için, fazla enerji veya kütlesel parçacıklar (foton) açığa çıkarır veya yayarlar. Böylece düşük enerji düzeyindeki alçak yörüngelere geçerler. Bu durumda elektronun sahip olduğu enerji ise havaya fotonlar halinde parçacık yayar. Foton, elektromanyetik kuvvet'in kuvvet taşıyıcısıdır. Foton hem dalga hem de parçacık özelliği gösterir. Antenlerdeki etkin ışıma alanı, foton enerjisinin yoğunlaştığı bölgedir. Bu emisyonlara radyasyon denir.

Tüm fotonlar ışık hızında hareket eder. **Atom altı parçacıklar arasında göz önüne alındığında, fotonlar, elektrik yükü ya da durgun kütlesi olmayan ve bir birim spin olan bosonlardır. "Foton nedir?" sorusuna cevap ararken, durgun kütlesi sıfırdır; ışık hızıyla gider; etkileşimlere parçacık olarak girebilir ancak dalga olarak yayılır.** ***Teoriye göre Foton, enerji ve momentuma sahiptir, ancak kütlesi yoktur ve bu kesin sınırlar dahilinde yapılan deneylerle doğrulanmıştır.*** **Bir fotonun enerjisi radyasyon frekansına bağlıdır (E=hf).**

Momentum, kütle ve hızın çarpılmasıyla bulunan bir değer olup cisimlerin enerjisinden ortaya çıkan hareketi tanımlar. Enerjinin aktarılma yönünü gösterir. Momentum, hareket eden kütlenin bir ölçümüdür, ne kadar harekette ne kadar kütle olduğunu ifade eder. Açısal momentum ile karıştırılmamalıdır. Bir nesnenin sahip olduğu momentumun büyüklüğü, kütlesi ve o gözlem çerçevesindeki hızının çarpımıdır (P=mV).

Parçacık ve dalga tipi radyasyonları, “iyonlaştırıcı” ve “iyonlaştırıcı olmayan” radyasyonlar olarak ikiye ayrılırlar. İyonlaştırıcı radyasyonlar, tüm canlılar için zararlı olabilecek radyasyon çeşitleridir. İnsan hücrelerinin değişimine neden oldukları, kanser oluşturdukları ve kromozomları değiştirdikleri için tehlikelidir. İyonlaşmanın olduğu yayınımların diş

dökülmesine, kan kanserine ve sakat doğumlara neden olduğu da bilinmektedir. Aynı zamanda X ışınları, Radyum gibi iyonlaşmanın olduğu radyasyonlar kanser tedavisinde kanserli hücreleri öldürmek için de kullanılır. Başlıca iyonlaştırıcı radyasyon çeşitleri; Alfa ve Beta parçacıkları, X ve Gama ışınları ve Nötronlar olarak sıralanmaktadır.

İyonize olmayan dalgalar ise Radyo dalgaları, Mikrodalga, Kızıl ötesi ışık, Görünen ışık, ve Morötesi ışık olarak sıralanır. Radyo ve mikrodalgalar günümüzde çok yoğun olarak kullanılmaktadır. İyonize olmayan dalgalar girdikleri dokulara enerjilerini aktararak ısısını arttırır ya da hücre zarlarının çalışma biçimini değiştirirler. Ayrıca dokulardaki hücre zarlarının normal işlevini bozan ısıl olmayan etkiler de gözlenmiştir. Mikrodalgalar kullanılarak insanların nasıl yönlendirileceği konusundaki çalışmalar, hücre zarlarının verdiği tepkiler üzerine yoğunlaşmıştır. Frekans yükseldikçe taşıdığı enerji büyüdüğünden yüksek frekanslarda dokulara aktarılan enerji büyük olacağından ısınma ve işlev bozucu etkileri de büyük olur.

Elektromanyetik alış gücü, P_r, (1) nolu Friis denklemi ile tanımlanır. Elektromagnetik dalga yayınım yaparken uzaklığa ve ışıma yaptığı frekansa bağlı olarak zayıflar.

$$P_r = P_t G_t L_t G_r L_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \qquad (1)$$

Burada
P_r: alış güç seviyesi, (Watt)
P_t: verici çıkış gücü, (Watt)
G_t: verici anten kazancı, (numerik),
L_t: verici tarafta hat kaybı, (numerik),
G_r: alıcı anten kazancı (numerik),
L_r: alıcı tarafta hat kaybı (numerik),
d: Alıcı verici antenler arasındaki uzaklık (metre),

Dalga boyu,

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Burada
λ: dalga uzunluğu, (metre),
c=ışık hızı=3 x 10^8m/s
f=frekans, (Hz=1/s) dir.

Antenin ışıma parçasının boyutları dalga boyu, λ'nın fonksiyonudur.

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_e \eta_e$$

Burada G antenin kazancı ya da ışımanın yönlendiriciliği; A_e, antenin etkin ışıma alanı, elektromanyetik enerji yoğunlaşma bölgesi; η_e, antenin ışıma verimliliğidir.

(1) nolu denklem logaritmik olarak düzenlenirse, Pr, dBm cinsinden aşağıdaki biçimde yazılır.

$P_r = P_t + G_t + G_r - L_t - L_r - FSL$ (2)

FSL: serbest uzay yol kaybı olarak adlandırılır.
FSL= 32.45 + 20log(R_{km} x f_{MHz})

Verici antenden d, metre uzaktaki güç yoğunluğu,

$$P_d = \frac{P_t G_t L_t}{4\pi d^2} \text{ , watt/m}^2 \quad (3)$$

formülü ile verilmektedir.

Serbest uzaydaki uzak alanda elektromanyetik dalganın taşıdığı güç yoğunluğu elektrik alan şiddetinden de hesaplanır.

$$P_d = \frac{E^2}{\eta_0} = \frac{E^2}{120\pi} \qquad W/m^2 \quad (4)$$

(3) ve (4) nolu denklemlerden elektrik alan şiddeti güç yoğunluğu ya da verici gücü cinsinden hesaplanabilir.

$$E = \sqrt{120\pi P_d} = 19.4\sqrt{P_d} = \frac{5.48}{R}\sqrt{P_t G_t L_t} \qquad V/m. \quad (5)$$

Elektromanyetik dalgaları yaymak veya almak için anten dediğimiz çok iyi iletken metaller kullanılır. Anten, hava ile elektronik cihazlar arasındaki geçiş yapısıdır. Antenler, elektrik sinyallerini havaya elektromanyetik dalga olarak ışırlar, havadaki elektromanyetik sinyalleri ise elektrik sinyaline dönüştürürler.

Elektron ve proton gibi yüklü parçacıkların hareketiyle elektromanyetik alanlar veya nükleer manyetik rezonanslar oluşmakta ve elektromanyetik dalgalar şeklinde enerjiyi taşıyarak yayılmaktadırlar. Bu dalgalar, enine dalgalar formunda hareket etmektedirler. Elektromanyetik dalgalar, herhangi bir ortama ihtiyaç duymadan, boşlukta ışık hızı (300.000 km/sn) ile yayılabildiklerinden enerjiyi çok uzak mesafelere taşıyabilmektedirler.

İnsan vücudu, beyin dalgalarının yanında farklı merkezlerde ortaya çıkan başka elektromanyetik dalgaları da üretebilmektedir. Bilindiği gibi insan vücudu; su, organik bileşenler [lipitler (yağlar), proteinler, karbonhidratlar, nükleik asitler (DNA ve RNA molekülleri)] ve inorganik minerallerden (Ca, P, Na, Mg, Fe vb.) oluşmaktadır. Bunların miktarları yaşa, boya, cinsiyete ve fiziksel yapıya göre kısmi değişiklikler göstermekle birlikte ortalama %62 su, %32 organik bileşenler ve %6 inorganik mineraller şeklinde belirtilebilir. İnsan vücudunu oluşturan kütlenin %99'u sadece 6 elementten, %1'i ise diğer elementlerden meydana gelmektedir. Bunlar; %65 O (oksijen), %18 C (karbon), %10 H (hidrojen), %3, N (nitrojen/azot), %1,5 Ca (kalsiyum), %1 P (fosfor), %0,35 K (potasyum), %0,25 S (kükürt), %0,15 Na (sodyum), %0,15 Cl (klor), %0,05 Mg (magnezyum), %0,006 Fe (demir), %0,0037 F (flor), %0,0032 Zn (çinko), %0,0020 Si (silisyum), %0,00046 Rb (rubidyum), %0,00046 Sr (stronsiyum), %0,00029 Br (brom), %0,00017 Pb (kurşun), %0,00010 Cu (bakır), %0,00006 Al (alüminyum) ve diğer eser elementler şeklinde sıralanabilir (Lowes, 2020).

İnsan vücudunda, çeşitli organlar tarafından üretilen elektromanyetik dalgalar, farklı enerji alanlarını açığa çıkarmaktadırlar. Ayrıca tüm vücudu sarmalayan ve beyaz ışık formunda, bazen de kişiye özgü baskın renklerde ortaya çıkabilen toplam bir biyoelektromanyetik alan da bulunmaktadır. İnsan vücudunun en dış kısmını sarmalayan bu toplam biyoenerji alanı çoğunlukla "aura" veya "yaşam enerjisi" olarak tanımlanır. Söz konusu ışınımların, uygun konsantrasyon ve ortam koşullarında çıplak gözle de görülebilmesi mümkün olabilmektedir. İnsanların biyoenerjilerindeki (auralarındaki) baskın renkler, eğilimleri veya ruh hallerini yansıtabilmektedir. Bunun yanında, çakralardaki olağan dışı biyoenerji sapmaları ise hastalıklara işaret edebilmektedir. İnsan vücudunda bozulan biyoenerji dengesinin bir kısmının beyin dalgalarıyla veya dışarıdan enerji alış-verişiyle düzeltilebilmesi (şifa bulması) mümkün gözükmektedir. Belirtilen bu biyoenerji alanlarının, ileri teknolojilerle görünür ve ölçülebilir hale getirilmesi, biyoenerji tedavi yöntemlerini de geliştirecektir.

Ses dalgaları da elektronik teknolojisiyle algılanabilmekte ve belirli süzgeçleme (filtrelizasyon) yöntemleri ile ayıklanarak sınıflandırılabilmektedir. İnsan kulağı, 20 Hz ile 20.000 Hz aralığındaki frekansları duyabilmekte, daha düşük (infrasonik) ve daha yüksek (ultrasonik) sesleri duyamamaktadır (Erkek sesi yaklaşık 500 Hz (pes) ile 1.500 Hz aralıklarında, kadın sesi ise yaklaşık 1.000 Hz ile 2.000 Hz (tiz) aralıklarındadır). İnsan kulağının duyabildiği frekans aralığındaki seslerin şiddeti "desibel/dB" olarak ifade edilmekte ve "0-130 dB" aralıklarında ölçeklendirilmektedir [20 dB (fısıltı/yaprak hışırtısı), 40 dB (hafif ses), 60 dB (konuşma), 80 dB (bağırma/gürültü), 100 dB (fabrika sesi/yüksek gürültü), 120 dB (savaş uçağı/geçici işitme kaybı), 130 dB (acı eşiği)] (Morfey, 2001; Hickling, 2006). Ses dalgaları, boyuna dalgalar formunda yayılmaktadır. Ses hızı; havada, deniz seviyesinde ve 21 °C sıcaklıkta 343,2 m/sn olup, jet uçaklarının bu hızı geçmesi durumunda sonik patlamalar (ses bombaları) ortaya çıkmaktadır.

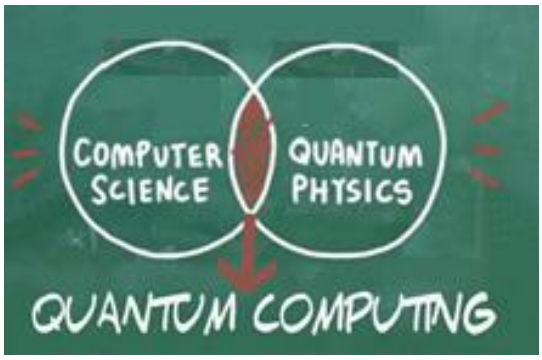
5. Quantum Hesaplama

5.1. Klasik Bilgisayardan Quantum Bilgisayara

Klasik bilgisayarlarda silikon tabanlı çipler kullanılırken, bilgiler elektriksel sinyaller ile taşınmakta, saklanmakta ve işlenmektedir. Quantum bilgisayarlarda ise atom, foton veya elektron gibi quantum sistemleri kullanılır. İşlemci, verileri çok hızlı işleyebilmesi için quantalama hesaplama yaparken bitler elektronlar ya da fotonlar ile temsil edilmektedir.

Elektronlar iletkenlerdeki bir atomdan diğerine akan elektrik akımını oluşur. 1 amperlik akımın oluşabilmesi için iletkenin herhangi bir noktasından 1 saniyede $6{,}25 \times 10^{18}$ elektron akması gerekir. Transistör elektron akışını kontrol eden, yarı iletken teknolojisinde üretilen bir devre elemanıdır. Mikrodalga tüpleri elektron akışını hızlandırıp yavaşlatır. Quantum bilgisayarlarda nanoteller olarak adlandırılan elektrik iletkenleri sadece bir atom kalınlığındadır ve bir veri biti bir elektronun superpozisyonu ve dolanıklığı ile temsil edilmektedir.

Quantum bilgi işlem, quantum mekaniği kanunlarına göre davranır ve olasılık hesaplama, süper konum ve dolanıklık gibi kavramlardan yararlanır. Bu kavramlar, karmaşık sorunları çözmek için quantum bilişiminin gücünden yararlanan quantum algoritmalarının temelini oluşturur. Olasılık, tahmin ederek karar vermeye dönüştüğünden performansı artıracak yetenekler ve deneyimler kazandıran algoritmalara ihtiyaç duyulmaktadır.



Quantum veri işleme ve hesaplama yapmak için süperpozisyon ve dolanıklık gibi quantum-mekanik fenomenlerin kullanılmaktadır. Quantum hesaplamalar yapan bilgisayarlara quantum bilgisayarlar denir. Quantum hesaplama ya da veri işleme çalışması, quantum bilgi biliminin bir alt alanıdır.

Quantum hesaplama alanındaki çalışmalar, fizikçi Paul Benioff'un Turing makinesinin quantum mekanik bir modelini önerdiği 1980'lerin başında başladı. Richard Feynman ve Yuri Manin daha sonra quantum bilgisayarın klasik bilgisayarın yapamayacağı şeyleri taklit etme

potansiyeline sahip olduğunu öne sürdüler. 1990'ların sonlarından bu yana devam eden deneysel ilerlemelere rağmen, çoğu araştırmacı olasılıkla karar vermenin hataya dayanıklı quantum hesaplama olmasından dolayı gerçekliğinden hala oldukça uzak bir rüya olduğuna inanmaktadır. Ekim 2019'da Google AI, ABD Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) ile ortaklaşa, quantum üstünlüğüne ulaştığını iddia ettikleri bir bildiri yayınladılar. Hataya dayalı karar verme geleceğimizin bir parçası olabilmesi için elde edilen performansların kesin doğruya yönelmesini gerekli kılmaktadır.

Quantum devre modeli, quantum Turing makinesi, adyabatik quantum bilgisayarı, tek yönlü quantum bilgisayarı ve çeşitli quantum hücresel otomataları dahil olmak üzere çeşitli quantum hesaplama modelleri vardır. En yaygın kullanılan model quantum devreleridir. Quantum devrelerinde quantum biti, klasik sayısal hesaplamadaki bite biraz benzemesinden dolayı qubit olarak isimlendirilmiştir. Qubitler 1 veya 0'ın quantum halidir. Bununla birlikte, qubitler ölçüldüğünde, ölçümün sonuçları her zaman ya 0 ya da 1'dir; bu iki sonucun olasılıkları, qubitlerin ölçümden hemen önce olduğu quantum durumuna bağlıdır. Hesaplama, qubitlerin klasik mantık kapılarına biraz benzeyen quantum mantık kapıları ile manipüle edilmesiyle gerçekleştirilir.

Bir quantum bilgisayarı fiziksel olarak uygulamaya yönelik iki ana yaklaşım vardır: analog ve dijital. Analog yaklaşımlar ayrıca quantum simülasyonu, quantum tavlama ve adyabatik quantum hesaplamasına ayrılır. Dijital quantum bilgisayarlar, hesaplama yapmak için quantum mantık kapılarını kullanır. Her iki yaklaşım da quantum bitleri veya qubitler kullanır. Şu anda yararlı quantum bilgisayarları oluşturma yolunda bazı önemli engeller vardır. Özellikle, quantum ayrışmasına eğilimli oldukları için qubitlerin quantum durumlarını korumak zordur ve quantum bilgisayarlar, klasik bilgisayarlardan çok daha eğilimli oldukları için önemli hata düzeltmeleri gerekmektedir.

Klasik bir bilgisayar tarafından çözülebilen herhangi bir hesaplama problemi, prensip olarak, bir quantum bilgisayarı tarafından da çözülebilir. Tersine, quantum bilgisayarlar Turing tezine uymaktadır; yani, bir quantum bilgisayar tarafından çözülebilen herhangi bir hesaplama problemi klasik bir bilgisayar tarafından da çözülebilir. Bu, quantum bilgisayarların hesaplanabilirlik açısından klasik bilgisayarlara göre ek bir avantaj sağlamadığı anlamına gelirken, teorik olarak, bilinen klasik algoritmalardan önemli ölçüde daha düşük zaman karmaşıklıklarına sahip bazı problemler için algoritma tasarımını mümkün kılar. Özellikle, quantum bilgisayarların, hiçbir klasik bilgisayarın çözemeyecği belirli problemleri hızla çözebileceğine inanılmaktadır. Quantum üstünlüğü olarak bilinen bir başarı ile quantum bilgisayarlard problemlerin hesaplama karmaşıklığının araştırılması, quantum karmaşıklık teorisi olarak bilinir.

Google, quantum bilgisayar kullanarak 53 qubit quantum hesaplama yongasında 200 saniyede hesaplamayı tamamladıklarını iddia etmiştir ki, bu hesaplama, en hızlı süper

bilgisayarda **10 bin yıl** sürüyor. Amazon ise, quantum hesaplama teknolojileri geliştirmek için uzmanlarla iş birliği yapma niyetinde olduğunu belirtmişti. Bunların yanında IBM ve Microsoft da quantum hesaplama teknolojileri geliştiren şirketler arasındadır.

Quantum hesaplama; sağlık hizmetleri, özellikle gezgin nesnelerin interneti ve siber güvenlik alanlarını baştan şekillendirebilir. Quantum hesaplama yakın gelecekte tüm yaşamsal alanlarda devrimsel etkilere sahip olacaktır. Eczacılık endüstrisinin **büyük veri problemini** sadece quantum bilgisayarları çözebilecektir. Günümüzdeki siber güvenlik sistemleri, şifreleme algoritmaları üzerine temel atıyor ancak quantum hesaplamayla bu denklemler, oldukça kısa bir süre içerisinde çözülebilecektir. *Gelecekte en güçlü şifreleme algoritmaları, quantum hesaplamayla önemli miktarda çözülebilecek ve yep yeni şifreleme algoritaları yeniden var edilecektir.*

Bir quantum parçacığı hakkında birşeyleri değiştirdiğinizde onun uzaktaki eşi üzerinde de aynı değişiklik olur. Quantum parçacıklarının bu etkileşim özelliği kullanılarak, verileri fiziksel olarak bir kablodan ya da radyo dalgaları ile kablosuz göndermeden bir yerden başka bir yere göndermek mümkün olacaktır. Bilgisayar bilimi ve Quantum fizikcileri şimdiden farklı ağlardaki farklı kullanıcılar arasında güvenli ve etkin veri iletişimi kurmak için yeni protokoller tasarlayıp gerçekleştirmektedirler.

IBM, 2017 yılından bu yana Quantum Hacmi'ni ikiye katlayarak ilerliyor. İlk olarak 4 Quantum Hacimli 5 qubitli bilgisayar Tenerite duyurulmuştu. 2018 yılında 20 qubitli, 8 Quantum Hacimli Tokyo; geçtiğimiz sene ise 20 qubitli, 16 quantum hacimli Johannesburg duyurulmuştu. Quantum Hacmi'nin artırılması hem IBM hem de quantum hesaplama endüstrisi için oldukça önemli.

Quantum Hacmi, 2017 yılında IBM araştırmacıları tarafından geliştirilen tam sistem quantum bilgisayar performansı ölçüsüdür. Tıpkı yeni duyurulan 32 Quantum Hacmi gibi sayısal değerler üretir. Yani sayı ne kadar artarsa quantum bilgisayarı da o kadar güçlenir.

Quantum Hacmi; qubitlerin ne kadar uzun süre quantum durumunda kalabilecekleri, donanım kalibrasyonu sırasında oluşan hatalar, parazitler, geçit uygunluğu ve diğer uygunluk ölçüleri gibi teknik faktörleri göz önünde bulundurur. Ayrıca qubitlerin sayısı ve bağlantısallığını da değerlendirir.

Quantum Avantajı; quantum bilgisayarların, klasik bilgisayarların üstünde bir hesaplama alanı ve hıza sahip olması durumudur. Daha basitçe söylemek gerekirse, klasik bilgisayarların çok çok uzun sürelerde çözebileceği problemlerin çok kısa bir sürede quantum bilgisayarları tarafından çözülebilmesi durumudur.

5.2. Dirac Gösterimi (The Dirac Notation)

Quantum hesaplama ile birlikte, kubit (qubit) kavramının ihtiyaç duyduğu notasyon Dirac tarafından geliştirilen bir gösterimle karşılanabilmektedir. Bazı kaynaklarda bra-ket olarak da geçer.

Bra-ket gösterimi < | > şeklinde sembolize edilebilir. Buradaki **bra** kısmı <| olurken **ket** kısmı |> olmuş olur. Yani İngilizcedeki parantez anlamına yakın bir kelimeyi parçalara bölerek (aslında barcket kelimesi, İngilizcede parantez anlamına gelir), parantez iki alt parçada gösterilir.

Elimizde olanları ket kısmına koyuyoruz. Örneğin |p> gösterimi, parçacığın p momentumunda olduğunu ifade etmektedir. Daha farklı belirgin olarak |p=3> gösterimi, parçacığın 3 momentumuna sahip olduğunu veya parçacığın 3 konumunda bulunduğunu ifade eder. Bu anlamda, elimizdeki bilgileri gösteren ket kısmı, aslında başlangıç vektörü veya başlangıç durumu şeklinde de adlandırılır.

Öte yandan <| bra gösterimi ise ulaşmak istediğimiz hali, veya beklediğimiz durumu göstermeye yarar. Örneğin <x=1.5| gösterimi bize, parçacığın, 1.5 konumunda bitmesini istediğimizi veya böyle bir beklentimiz olduğunu gösterir. Bu durumda, örneğin <x=1.5 | x=3 > gösterimi, parçacığın 3 konumunda başlayarak 1.5 konumunda bitmesi anlamına gelir.

Genelde mevcut durumu ifade etmek için ket kısmında psi sembolü kullanılır. Örneğin |ψ> gösterimi, mevcut durumun ψ vektörü olduğunu ifade eder.

Kubitler için olası durumlardan iki tanesi 1 ve 0 olma durumudur ki bu durumda kubitler bizim bildiğimiz klasik bitler gibi davranır. Bu durumları göstermek için |0> veya |1> gösterimi kullanılabilir. Elbette unutulmaması gereken bir durum, kubitlerin, klasik bitlerden farklı değerler alabileceğidir. Örneğin kubitler, 0 ve 1 arasındaki herhangi bir doğrusal değeri alabilir.

$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$

Şeklindeki gösterimde, ψ değeri, yukarıda verilen α değeri kadar 0 ve β değeri kadar 1'dir. Yani bu iki değer arasında bir yerde kabul edilen bir vektördür. Bu vektörün uzunluğunu 1 olarak kabul edersek, Pisagor bağlantısından $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$ olmalıdır.

Ket gösterimi, vektörel bir gösterimdir. Diğer bir deyişle, |v> gösterimi aslında [v] şeklinde gösterilebilen bir kolon vektördür. Bra gösterimi ise satır vektörüdür.

Örneğin ket gösterimi için aşağıdaki şekilde bir vektörden bahsedilebilir:
|ψ> = [a1 a2 a3 … an]

Benzer şekilde bra gösterimi için yukarıdaki bu matrisin tersyüzü (transpoze) alınmıştır denilebilir:

$$< \varphi | \; = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix}$$

5.3. Qubit

Quantum hesaplamada, bir qubit veya quantum biti quantum bilgisinin temel birimidir - iki durumlu bir cihazla fiziksel olarak gerçekleştirilen klasik ikili bitin quantum versiyonudur. Bir qubit, quantum mekaniğinin özelliklerini gösteren en basit quantum sistemlerinden iki durumlu (veya iki seviyeli) bir quantum-mekanik sistemdir. Örnekler arasında: iki seviyenin spin up ve spin down olarak alınabildiği elektronun spini; veya iki durumun dikey polarizasyon ve yatay polarizasyon olabileceği tek bir fotonun polarizasyonu. Bununla birlikte, quantum mekaniği qubitin her iki durumun aynı anda tutarlı bir üst üste binmesine izin verir, bu quantum mekaniği ve quantum hesaplama için temel bir özelliktir.

Klasik bilgisayarlarda bilgiyi temsil etmek için 0 ve 1 olarak karakterize edilen bir ikili basamak kullanılır. İkili basamak, bir bitin temel bilgi birimi olduğu bir bit Shannon bilgisini temsil eder. Bit kelimesi ikili basamakla eşanlamlıdır. Klasik bilgisayar teknolojilerinde, işlenmiş bir bit, iki düşük elektriksel sinya olan DC voltaj seviyesinden biri tarafından uygulanır ve bu iki seviyeden birinden diğerine geçerken, yasak bölge olarak adlandırılan bir bölge elektrik voltajı kadar hızlı bir şekilde geçirilmelidir. Bir seviyeden diğerine aniden değişemez. Sinyalleri tetikleme seviyeleri buunmaktadır. Böylece verinin 1 ya da 0 olduğuna karar verilmiş olunur.

Klasik bilgisayarlar ikili sayı sisteminin bitlerinden oluşan hafıza yapısına sahiptir. Her bit 1 veya 0 değerini alabilir. Quantum bilgisayarları ise qubit (qubit)lerden oluşan seriler içerir. Tek bir qubit 1, 0 veya bu ikisi arasındaki (quantum çakışması) bir değeri alabilir. Bir qubit (qubit) çifti 4 quantum çakışması durumunun herhangi birinde, üç qubit (qubit) ise 8 quantum çakışması durumunun herhangi birinde değer alabilir. Normal bilgisayarlar durumun sadece birinde olurken, bir quantum bilgisayarı bu durumların hepsinde ya da bir kısmında bulunabilir. Quantum bilgisayarları qubitleri (qubit) belirli quantum mantık kapıları ile düzenleyebilir. Uygulanan bu kapı serilerine quantum algoritması adı verilir.

Alışıla gelmiş klasik transistörlü elektriksel devre akımı ile işlem yapma esnasında çeşitli veri gecikme süreçleri olduğu için, bu bekleme süreci transistör sayısı artıkça ilk elektriksel yapı bir noktadan sonra tekrar yenilenmesi gerekir. Bu yüzden işlem süreci haliyle uzamaktadır. Fiber optik bağlantılardaki gibi, quantum bilgisayarlarının tüm işlemi ışık hızı sınırında tamamlayabilmesi olasıdır.

Quantum hesaplamanın temel bileşenleri:

- Quantum mekaniği
- Klasik ve Quantum bitler, özellikleri, tersinir işlemler.
- Qubitlerin ölçülmesi.
- Genel quantum hesaplama işlemi.
- Basit quantum hesaplamalı problemler: Deutsch Problemi, Bernstein-Vazirani Problemi, Simon Problemi.
- Bir quantum bilgisayar ile arama: Grover iterasyonu. Quantum şifreleme ve karıştırmanın diğer kullanım alanları.
- Şifrelerinin quantum hesaplama ile çözülmesi.
- Quantum hata düzeltmesi.

Bilgi birimleri:

- shannon or bit (base 2)
- nat (base e)
- trit (base 3)
- hartley, ban or dit (base 10)
- qubit (quantum)

Klasik bir bitin ölçülmesi, durumunu bozmazken, bir qubitin ölçülmesi tutarlılığını yok eder ve üst üste binme durumunu geri dönülmez şekilde bozar. Bir qubit içinde bir biti tamamen kodlamak mümkündür. Bununla birlikte, bir qubit daha fazla bilgi içerebilir. Bileşenleri n olan bir sistem için, klasik fizikteki durumunun tam bir açıklaması sadece n bit gerektirirken, quantum fiziğinde 2^{n-1} karmaşık sayı gerektirir.

Quantum hesaplamada bir qubitin iki durumu yani dikey polarizasyonu ve yatay polarizasyonu vardır. Bir qubit böyle tek bir fotonun foton polarizasyonu gibi iki durumlu quantum mekaniği sistemidir. Klasik sistemde, bir durum ya da diğeri olurdu, ancak quantum mekaniği qubit, aynı anda her iki durumun bir quantum süperpozisyonu içinde quantum bilgisayarı için temel bir özellik olmasını sağlamaktadır.

Bir bit(0/1) bilginin temel birimidir. Bit bilgisayarlar ile bilginin temsil edilmesinde kullanılır. Fiziksel gerçekleştirilmesi ne olursa olsun, bir bit her zaman, bir 0 ya da bir 1 olduğu anlaşılmaktadır. Buna bir benzetme, bir lamba anahtarı ile 0 temsil kapalı konuma ve 1 açık konumda olduğudur.

Klasik bilgisayarlar bitlerden oluşan hafıza yapısına sahiptir. Her bit 1 veya 0 değerini alabilir. Quantum bilgisayarları ise qubit (qubit)lerden oluşan seriler içerir. Tek bir qubit 1, 0 veya bu ikisi arasındaki (quantum çakışması) bir değeri alabilir. Bir qubit (qubit) çifti 4 quantum çakışması durumunun herhangi birinde, üç qubit (qubit) ise 8 quantum çakışması durumunun herhangi birinde olabilir. Genel olarak n qubit sahibi bir quantum bilgisayarı aynı anda 2^n çakışmanın herhangi birinde olabilir. Normal bilgisayarlar 2^n durumun sadece birinde olurken, bir quantum bilgisayarı bu durumların hepsinde ya da bir kısmında bulunabilir. Quantum bilgisayarları qubitleri belirli quantum mantık kapıları ile düzenleyebilir. Uygulanan bu kapı serilerine quantum algoritması adı verilir.

5.4. Bitden Qubite

Quantum hesaplamada, bir qubit, klasik hesaplamadaki biraz benzerdir. Ayrıca klasik byte'lara benzer qubyte'larımız da var. Klasik hesaplamada olduğu gibi, bir qubit iki ölçülebilir duruma sahiptir, ancak bundan biraz daha fazlası vardır.

Bir qubiti ölçtüğünüzde, quantum durumunun çöktüğü söylenir; 0 veya 1 olan bir değere. Ancak, onu ölçmeden önce, iki gözlemlenebilir durumun belirli bir olasılığı vardır. Quantum mühendisleri olarak, bir quantum halinin olasılıklarını değiştirebiliriz ve dahası, birbirini etkileyen birden çok qubit kullanabiliriz.

Bir qubit, bir vektör olarak temsil edilir. Sıfır qubit durumu, tek sütunlu matris $[1, 0]^T$ ile temsil edilir. Bir qubit durumu $[0, 1]^T$ ile temsil edilir. Bunlar, temel durumlar olarak bilinir. 'T' üst simgesi, matrisin dönüşümünü (transposesini) belirtir ve matrisin yatay olarak sunulmasına izin verir. Yer kazanmak için ara sıra kullanılır.

Bu iki temel durum ortonormaldir, yani ortogonal ve normalize edilmiştir. Birlikte hesaplama temeli olarak adlandırılırlar.

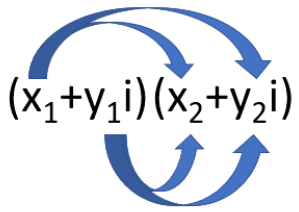
Ortogonal, matrislerin iç çarpımının 0 olduğu anlamına gelir. İç çarpımı hesaplamak için, birinci matristeki her bir öğeyi ikinci matristeki karşılığı ile çarpıyoruz ve hepsini topluyoruz, şöyle ki:
$[1\ 0] \cdot [0\ 1] = 1 \times 0 + 0 \times 1 = 0$

Normalleştirilmiş, gözlemlenebilir durumların olasılıklarının toplamının 1 olduğu anlamına gelir.

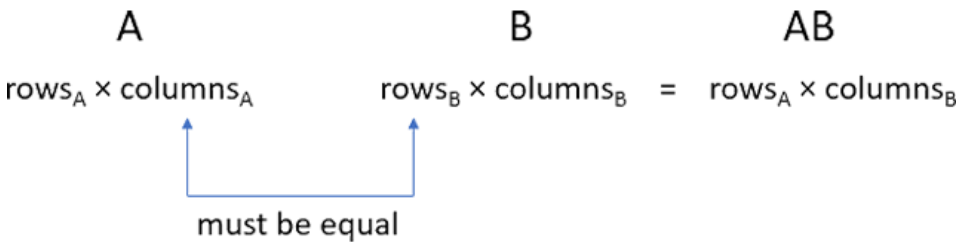
Quantum durumlarının olasılığını belirlemek, quantum bilgi teorisi için temeldir.

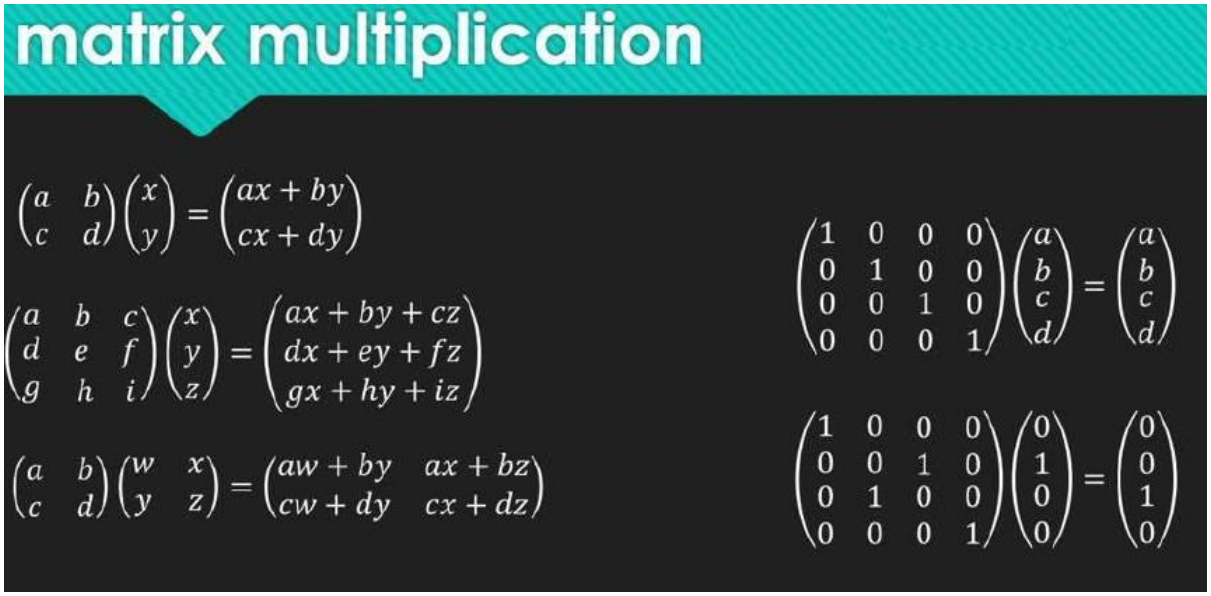
Ön Matematik:

Karmaşık (Kompleks) Sayıları Çarpma:



İki Matrisi Çarpma:





Operations on one classical bit (cbit)

Identity	$f(x) = x$	$0 \to 0$, $1 \to 1$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$
Negation	$f(x) = \neg x$	$0 \to 1$, $1 \to 0$	$\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$
Constant-0	$f(x) = 0$	$0 \to 0$, $1 \to 0$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$
Constant-1	$f(x) = 1$	$0 \to 1$, $1 \to 1$	$\begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$

tensor product of vectors

$$\begin{pmatrix} x_0 \\ x_1 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} y_0 \\ y_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_0 \begin{pmatrix} y_0 \\ y_1 \end{pmatrix} \\ x_1 \begin{pmatrix} y_0 \\ y_1 \end{pmatrix} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_0 y_0 \\ x_0 y_1 \\ x_1 y_0 \\ x_1 y_1 \end{pmatrix}$$

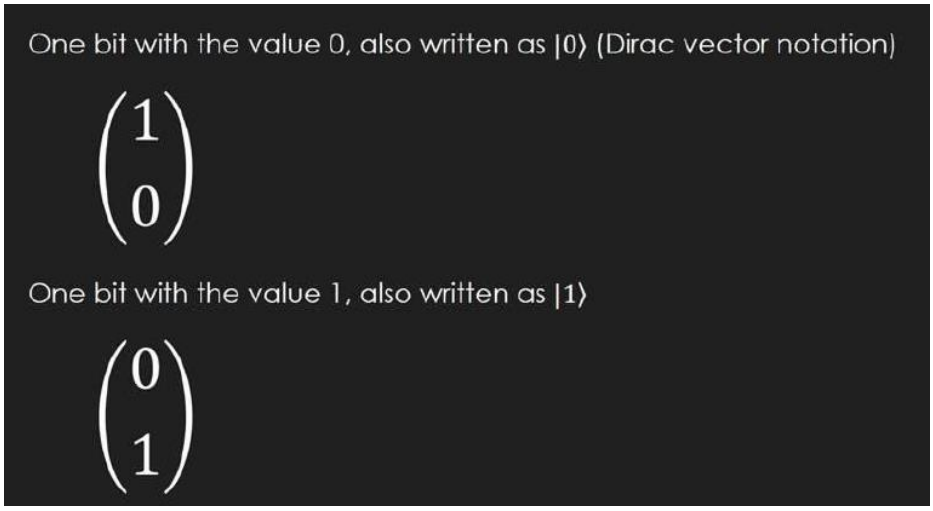
$$\begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 3 \\ 4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 \\ 4 \\ 6 \\ 8 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x_0 \\ x_1 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} y_0 \\ y_1 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} z_0 \\ z_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_0 y_0 z_0 \\ x_0 y_0 z_1 \\ x_0 y_1 z_0 \\ x_0 y_1 z_1 \\ x_1 y_0 z_0 \\ x_1 y_0 z_1 \\ x_1 y_1 z_0 \\ x_1 y_1 z_1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Quantum Durumunu Dirac Gösterimiyle Tanımlama:

$$\langle i | j \rangle = \delta_{ij} \qquad \delta_{ij} = \begin{cases} 0 \text{ for } i \neq j \\ 1 \text{ for } i = j \end{cases}$$



Dirac notasyonu (bra-ket notasyonu olarak da bilinir) quantum teorisinin her yerinde bulunur. Quantum durumlarını tanımlamak için kullanılır. Bunu matris kısaltması olarak düşünebilirsiniz.

Sıfır temel durumuna sahip tek bir qubit, Dirac gösteriminde bir ket olarak yazılabilir, örneğin:
| 0⟩ | 0⟩
Bu, "ket sıfır" olarak okunur.

Tersine, tek temel duruma sahip bir qubit şu şekilde yazılabilir: | 1⟩ | 1⟩

Qubitler için, Dirac gösterimi kendini güzel bir şekilde ikili gösterime borçludur. Aşağıda, matristeki girişlerin ikiliye nasıl karşılık geldiğine dikkat edin. Ek olarak, matristeki ilk girişin 1'e değil 0'a nasıl karşılık geldiğine dikkat edin.

$$|010\rangle = \begin{array}{c} \\ \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \end{array} \begin{array}{cc} \text{Binary} & \text{Decimal} \\ 000 & 0 \\ 001 & 1 \\ \color{red}{010} & \color{red}{2} \\ 011 & 3 \\ 100 & 4 \\ 101 & 5 \\ 110 & 6 \\ 111 & 7 \end{array}$$

Şimdi, gösterildiği gibi iç çarpımı hesaplayarak ⟨0 | 0⟩ değerini 1'e indirebiliriz:
⟨0 | 0⟩ = [10] · [10] = 1 × 1 + 0 × 0 = 1⟨0 | 0⟩ = [10] · [10] = 1 × 1 + 0 × 0 = 1

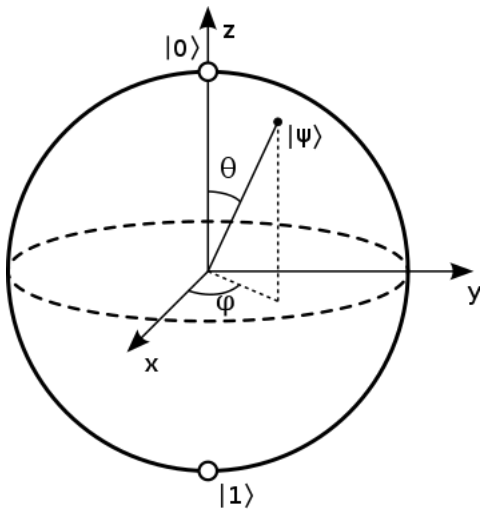
ve çünkü ⟨0 | ve | 1⟩ ortogonaldir, iç çarpımı 0'dır, gösterildiği gibi:

⟨0 | 1⟩ = [10] · [01] = 1 × 0 + 0 × 1 = 0⟨0 | 1⟩ = [10] · [01] = 1 × 0 + 0 × 1 = 0

Bloch Küresinde bir Qubit Görselleştirme:
Bir qubit, kürenin merkezinden kürenin yüzeyine kadar 1 uzunluğunda bir çizgi olarak temsil edilir. Kuzey kutbunda oturur temel durum | 0⟩; güneyde, | 1⟩.

Bir temel duruma çökmeden önce, bir qubitin süperpozisyonu Bloch küresinin herhangi bir yerinde bulunabilir. Θ (teta) 'yı enlem ve ϕ (phi)' yi boylam olarak düşünebilirsiniz. Dikey olarak, kuzeye veya güneye hareket ettikçe, enlem değişir (θ) ve yatay olarak hareket ettikçe boylam (ϕ) değişir.

Enlem, qubitin belirli bir temel duruma çökme olasılığını etkilerken, boylam etkilemez. Boylam, qubit fazı olarak adlandırılır.



Bloch Sphere

bir qubitin süperpozisyonu,
| ψ⟩ = α | 0⟩ + β | 1⟩ | ψ⟩ = α | 0⟩ + β | 1⟩

Olarak yazılır. Burada α ve β, karmaşık sayılar olan olasılık genlikleridir.

Because $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$, the superposition equation

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$

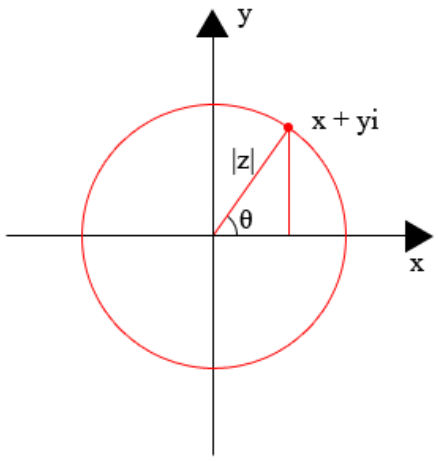
may be re-written in polar coordinate fashion as:

$$|\psi\rangle = e^{i\gamma}(\cos\vartheta/2\ |0\rangle + e^{i\varphi}\sin\vartheta/2\ |1\rangle)$$

Since the factor $e^{i\gamma}$ has no observable effects, it can be ignored, so we can effectively write:

$|\psi\rangle = \cos\vartheta/2\ |0\rangle + e^{i\varphi}\sin\vartheta/2\ |1\rangle$

Recall that a complex number consists of a real part, x, and an imaginary multiplier, y. z=x+iy. The arg function can be used to calculate θ. In this case, arg is equivalent to atan2, which is also equivalent to $\tan^{-1}$, as shown:
Arg(x+iy)=atan2(y,x)= tan−1(y/x)



The polar coordinates consist of the modulus ρ (rho) and the angle θ. Recall that to calculate the modulus we use:
$\rho=|x+yi|=x^2+y^2$

To calculate the angle, we use:
$\theta= \tan^{-1}(y/x)$

To convert back from polar to Cartesian representation, use:
$x=\rho\cos\theta$
$y=\rho\sin\theta$

α and β can be visualized on the Bloch sphere as a point corresponding to the two angles (θ, ϕ).

It turns out that because $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$ we can calculate a qubit's position on the Bloch sphere using the following:

Quantum Fiziği olasılıktır:
α ve β katsayıları, süperpozisyon genlikleri adı verilen karmaşık sayılardır.
$\alpha = x_0 + iy_0$ ve $\beta = x_1 + iy_1$.

Bu katsayılar, qubitin | 0> veya | 1> durumunda olma olasılığını temsil eder. Ölçüm üzerine, bir qubit, | 0> veya | 1> durumuna daralacaktır, ancak ölçümden önce, yalnızca qubitin belirli bir durumda olma olasılığı vardır.
$|\alpha|^2$, | 0> olasılığıdır,
$|\beta|^2$, | 1> olasılığıdır,
$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$ çünkü olasılıkların toplamı bir olmalıdır.

5.5. Quantum Bilgi İşlemesi

Quantum teorisi olarak da bilinen quantum mekaniği, atomik ve atom altı düzeylerdeki parçacıkların incelendiği bir fizik dalıdır. Ancak, kesin gözüyle baktığınız birçok mekanik kanunu quantum düzeyinde geçerli olmaz. Süper konum, quantum ölçümü ve dolanıklık, quantum bilişiminin merkezinde yer alan üç olaydır.

Oturma odanızda egzersiz yaptığınızı düşünün. Tamamen solunuza ve ardından tamamen sağınıza dönün. Şimdi aynı anda hem solunuza hem de sağınıza dönün. Bunu yapamazsınız (en azından kendinizi ikiye bölmeden). Elbette aynı anda bu iki durumda bulunamazsınız, yani aynı anda hem sola hem de sağa bakamazsınız.

Ancak bir quantum parçacığıysanız, belirli bir *sola bakma* olasılığınız ve belirli bir *sağa bakma* olasılığınız vardır. Bunun nedeni **süper konum** (**uyumluluk** olarak da bilinir) olarak bilinen bir olaydır.

Elektron gibi bir quantum parçacığının kendi "sola bakma veya sağa bakma" özellikleri vardır. Örneğin, yukarı veya aşağı olarak adlandırılan **spin** veya klasik ikili bilişime daha yakın hale getirmek için 1 veya 0 diyelim. Bir quantum parçacığı süper konum durumunda olduğunda, 1 ile 0 arasındaki sonsuz sayıda durumun doğrusal bir bileşimi olur, ancak gerçekten bakana kadar hangisi olacağını bilemezsiniz. Bu da **quantum ölçümü** adlı bir sonraki olayımızı beraberinde getiriyor. Quantum parçacığını gözlemleme veya ölçme eyleminin süper konum durumunu **çöktürmesi** (**uyumsuzluk** olarak da bilinir) ve parçacığın 1 veya 0 değerindeki klasik ikili durumlarından birini almasıdır.

Bu ikili durum bizim için yararlıdır, çünkü bilişimde 1'ler ve 0'larla çok sayıda şey yapabilirsiniz. Ancak bir quantum parçacığı ölçülüp çöktükten sonra, sonsuza dek bu durumda kalır (tıpkı resminiz gibi) ve her zaman 1 veya 0 olur. Ancak daha sonra göreceğiniz gibi, quantum bilişiminde parçacığın quantum hesaplamalarında yeniden kullanılabilmesi için parçacığı bir süper konum durumuna "sıfırlayabilen" işlemler vardır.

Dolanıklık:
Quantum mekaniğinin belki de en ilginç olayı, iki veya daha fazla quantum parçacığının birbiriyle **dolanık** hale gelmesi olanağıdır. Parçacıklar dolanık hale geldiğinde, herhangi bir parçacığın quantum durumunun diğer parçacıkların quantum durumundan bağımsız olarak açıklanamayacağı tek bir sistem oluşturur. Bu, bir parçacığa uyguladığınız her türlü işlemin diğer parçacıklarla da bağıntılı olduğu anlamına gelir.

Bu karşılıklı bağımlılığın yanı sıra, parçacıklar son derece büyük uzaklıklarda (ışık yılları kadar uzaklıkta bile) ayrılsa bile bu bağlantıyı koruyabilir. Quantum ölçümünün etkileri dolanık parçacıklar için de geçerli olur. Bu parçacıklardan biri ölçülüp çöktüğünde diğer parçacık da çöker. Dolanık qubitler arasında bir bağıntı olduğundan, bir qubitin durumunu ölçmek diğer qubitin durumu hakkında bilgi sağlar. Bu özellik, quantum bilişiminde çok faydalıdır.

Qubitler ve olasılık
Klasik bilgisayarlar bilgileri, 1 veya 0 durumlarından birine sahip olabilen ancak asla ikisine birden sahip olamayan bitleri depolayıp işler. Bunun quantum bilişimindeki eşdeğeri, quantum parçacığının durumunu temsil eden **qubittir**. Süper konum nedeniyle, qubitler 1, 0 ya da bunların arasındaki herhangi bir değer olabilir. Bir qubit, yapılandırmasına bağlı olarak, 1 veya 0 değerine çökmeye yönelik belirli bir *olasılığa* sahiptir. Qubitin iki durumdan birine çökme olasılığı, **quantum girişimi** ile belirlenir.

Benzer şekilde quantum girişimi, ölçüm sırasında belirli bir sonucun olasılığını etkilemek için bir qubitin durumunu etkiler ve bu olasılık durumu, quantum bilişimi gücünün üstün olduğu yerdir. Örneğin, klasik bir bilgisayardaki her bit, 1 veya 0 depolayabilir, böylece iki bit ile dört olası değer (**00**, **01**, **10** ve **11**) depolayabilirsiniz, ancak bunu tek seferde biri olacak şekilde yapabilirsiniz. Ancak süper konumda iki qubit olduğunda, her qubit 1 veya 0 ya da *her ikisi* de olabilir, yani aynı anda bu dört değeri temsil edebilirsiniz. Üç qubitle sekiz değeri temsil edebilir, dört qubitle 16 değeri temsil edebilir ve bu şekilde devam edebilirsiniz.

Quantum bilişimini öğrenme konusunda önemli temel kavramlar:

- **Süper konum**: Quantum parçacıklarının tüm olası durumların bir bileşimi olması olanağı.

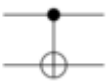
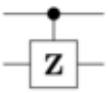
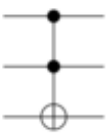
- **Quantum ölçümü**: Bir quantum parçacığını süper konumda gözlemleme ve olası durumlardan birine neden olma işlemi.
- **Dolanıklık**: Quantum parçacıklarının ölçüm sonuçlarını birbirleriyle ilişkilendirme olanağı.

- **Qubit**: Quantum bilişiminde temel bilgi birimi. Qubit, bir quantum parçacığını tüm olası durumların süper konumunda temsil eder.

- **Girişim**: Bir qubitin iki durumdan birine çökme olasılığını etkilemeye yönelik süper konum nedeniyle kendine özgü davranışı.

5.6. Quantum Mantıksal Kapılar

Quantum hesaplamada ve özellikle quantum devre hesaplama modelinde, bir quantum mantık kapısı (veya basitçe quantum kapısı) az sayıda qubit üzerinde çalışan temel bir quantum devresidir. Klasik mantık kapıları geleneksel dijital devreler için olduğu gibi quantum devrelerinin yapı taşlarıdır.

Operator	Gate(s)		Matrix
Pauli-X (X)			$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$
Pauli-Y (Y)			$\begin{bmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{bmatrix}$
Pauli-Z (Z)			$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$
Hadamard (H)			$\frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$
Phase (S, P)			$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{bmatrix}$
$\pi/8$ (T)			$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{i\pi/4} \end{bmatrix}$
Controlled Not (CNOT, CX)			$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$
Controlled Z (CZ)			$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$
SWAP			$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
Toffoli (CCNOT, CCX, TOFF)			$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$

Birçok klasik mantık kapısının aksine, quantum mantık kapıları tersine çevrilebilir. Bununla birlikte, sadece tersinir kapılar kullanarak klasik bilgi işlem yapmak mümkündür. Örneğin, tersinir Toffoli kapısı, çoğu zaman ancilla bitleri kullanmak zorunda kalacak şekilde tüm Boolean fonksiyonlarını uygulayabilir. Toffoli kapısı doğrudan quantum eşdeğerine sahiptir ve quantum devrelerinin klasik devreler tarafından gerçekleştirilen tüm işlemleri gerçekleştirebileceğini gösterir.

Klasik mantık kapıları ve quantum mantık kapıları her ikisi de mantık kapılarıdır. İster klasik ister quantum olsun, bir mantık kapısı, bir dizi ikili girişi (0lar ve 1ler, spin-up elektronlar ve spin-down elektronlar, adını siz veriniz) alıp işleyen ve yeniden ikili çıkışa dönüştüren yapı veya sistemdir. Tekli ikili çıktı: bir 1, bir spin-up elektron, hatta iki süperpozisyon durumundan biridir. Çıktıyı yöneten şey Boole işlevidir. Boole işlevini Evet / Hayır sorularına nasıl yanıt vereceğinizle ilgili bir kurallar bütünü olarak düşünebilirsiniz.

Klasik kapılar klasik bitlerde, quantum kapılar quantum bitlerinde (qubit) çalışır. Bu, quantum kapıların, quantum mekaniğinin klasik kapılar için tamamen erişilemeyen iki temel yönünü kullanabileceği anlamına gelir: ***süperpozisyon ve dolanıklık***. Bunlar, quantum hesaplama bağlamında en sık duyacağınız iki kavramdır. Ancak, belki de aynı derecede önemli olan daha az bilinen bir kavram var**: tersinirlik**. Basitçe söylemek gerekirse, **quantum kapıları tersine çevrilebilir.** Quantum hesaplama yapılırken tüm quantum kapıları geri alma düğmesiyle geri gelir. Bu, en azından prensipte, quantum **kapılarının asla bilgi kaybetmediği anlamına gelir.** Quantum kapısına giderken dolanan qubitler çıkış sırasında dolanık olarak kalır ve bilgilerini geçiş boyunca güvenli bir şekilde mühürler. Öte yandan, **geleneksel bilgisayarlarda bulunan klasik kapıların çoğu bilgi kaybeder ve bu nedenle adımlarını geri alamazlar. İlginçtir ki, bu bilgi nihayetinde evrene kaybolmaz, daha çok klasik bilgisayarınızdaki ısı olarak odanıza yayılır.**

Quantum fiziğinin merkez prensiplerinden biri olan **Quantum dolanıklığı**, **çoklu parçacıkların bir parçacık quantum durumunun ölçülmesinin diğer parçacıkların olası quantum durumlarını belirleyecek şekilde birbirine bağlandığı anlamına gelir.** Bu bağlantı parçacıkların uzaydaki yerlerine bağlı değildir. Parçalanmış parçacıkları milyarlarca kilometreye kadar ayırırsanız bile, bir parçacıktaki değişim diğerinde de bir değişime neden olacaktır. Quantum dolaşmanın anlık olarak bilgi ilettiği görülse de, mekan yoluyla "hareket" olmadığı için klasik ışık hızını ihlal etmez.

Quantum dolanmasının klasik örneğine **EPR paradoksu** denir. Bu kuramın basitleştirilmiş versiyonunda, iki yeni parçacık olan Parçacık A ve Parçacık B'ye dönüşen quantum spini 0 olan bir parçacığı düşünelim. Parçacık A ve Parçacık B, zıt yönlerde duruyor. Bununla birlikte, orijinal parçacık 0 bir quantum spinine sahipti. Yeni parçacıkların her biri 1/2 bir quantum spinine sahipler, ancak toplam spin “0” olması için, parçacıklardan biri “+1/2”, diğeri “-1/2” dir. Bu ilişki, iki parçanın dolaştığı anlamına gelir. Parçacık A'nın spinini ölçtüğünüzde, bu

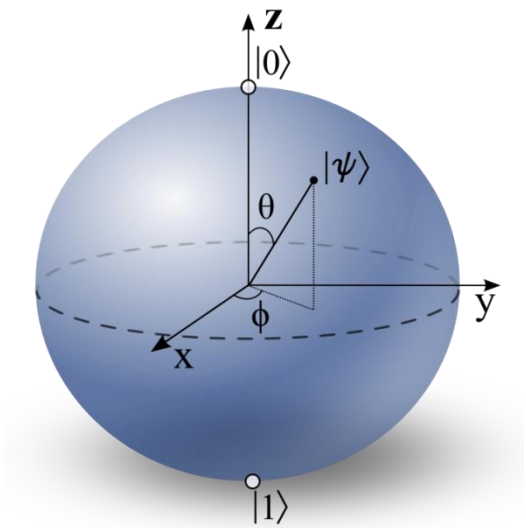
ölçüm, Parçacık B'nin spinini ölçerken elde edebileceğiniz olası sonuçlar üzerinde bir etkiye sahiptir. Bu sadece ilginç bir teorik tahmindir değil, Bell'in Teoremi testleri ile deneysel olarak doğrulanmıştır

Hatırlanması gereken önemli bir nokta da, quantum fiziğinde, parçacığın quantum durumu hakkındaki orijinal belirsizlik sadece bilgi eksikliği değildir. Quantum teorisinin temel bir özelliği, ölçüm işleminden önce parçacık gerçekten kesin bir duruma sahip değildir, ancak olası tüm durumların bir birleşimindedir. Bu, schroedinger'in kedisi en iyi klasik quantum fiziği tarafından düşünülmüş deneyle modellenmiştir.

Akılma gelenler: Parçacık B yaşadığımız bir dünya ise Parçacık a kainattaki bir yerlerde dolanık elektronlar olabilir. Bu durum da o elektronların davranışları izlenerek dünyayı izleye bilirler mi? Elektronlar foton olarak ışık hızında gelmiş iseler, buradaki davranışlarındaki değişimler anlıktır.

Tersinir kimyasal, fiziksel ve mekanik olarak geri dönüştürülebilir demektir. Örneğin maddenin hal değiştirmesi olayları tersinirdir. Maddenin hal değiştirmesi olaylarından erimeye örnek verecek olursak; bir buzu eritip su haline getirdiğinizde suyu tekrar soğutup buz haline getirebilirsiniz, bu tersinir bir işlemdir. Aslında her olay tersinirdir ancak çoğu olayın tersinme ihtimali "çok" düşüktür ve bulunduğumuz dünya ve keşfettiğimiz teknolojiyle bunları tersinmek imkânsızdır.

Süperpozisyon foton, fonon, elektron vs. gibi parçacıklar için geçerli olan bir duruma verilen isim. Bir parçacığın quantum durumunun aynı anda farklı durumlarda olabilmesi anlamına geliyor. Klasik durumda (mesela bir bit) sadece iki durumdan birini (0 veya 1, açık veya kapalı) alabilirken, quantum bit (qubit) aynı anda hem 0 hem de 1 durumunda olabiliyor.



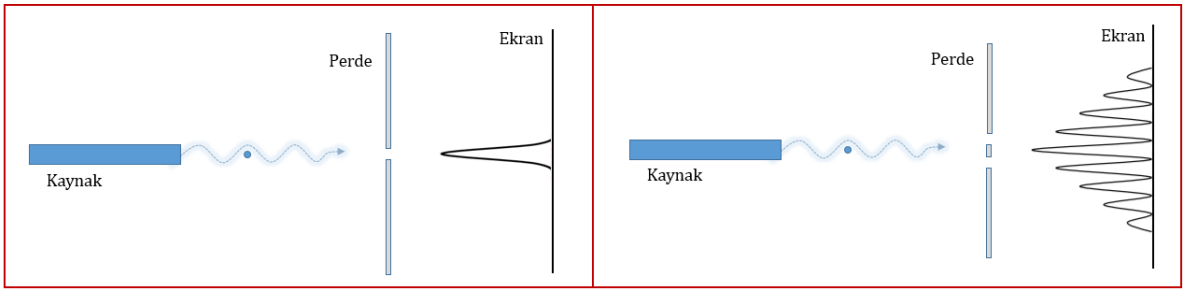
Yazı tura atıp sonuca bakmazsak para hem yazı hem tura durumunda olur, baktığımız anda da 0 veya 1 durumlarından birine çöker. Yanlış :) Çünkü siz bakıp bakmamanız yazı tura sonucunu değiştirmez, bu sadece sizin sonucu bilmediğiniz anlamına gelir. Ayrıca tüm fiziksel parametreleri bilmeniz halinde para yere düşmeden hangi sonucun geleceğini hesaplayabilirsiniz. Ama quantum dünyasında parçacığın hangi duruma çökeceği tek bir ölçüm için tamamen rastlantısaldır (random). Aynı süperpozisyon durumunda olan başka parçacıklar ölçüldüğünde, yani ölçüm sayısı artırıldığında, istatistiksel bir olasılık verisine ulaşırız. Bu olasılık ilişkisi ise parçacığın süperpozisyon durumu ile direk ilişkilidir. Bir qubitin quantum durumu şöyle yazılabilir:

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$

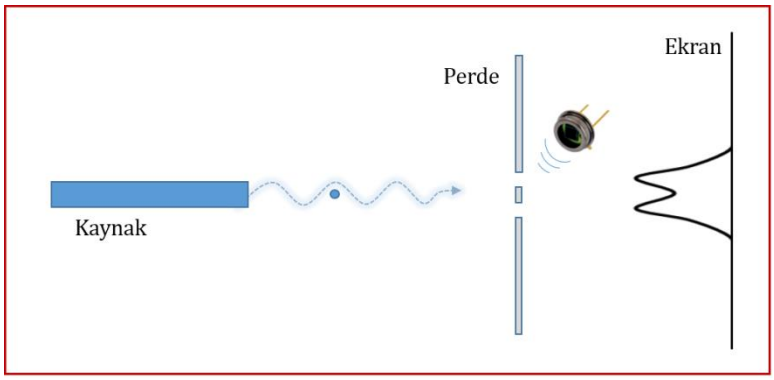
Burada $|\alpha|^2$ sistemin 0 durumuna çökme ihtimalini verirken $|\beta|^2$ ise 1 durumuna çökme ihtimalini verir. Yani mesela $|\alpha|^2 = 0.4$ ise %40 ihtimalle 0 durumuna çöker. Klasik olasılık problemlerinden farkı ise α ve β karmaşık sayılar olabilirler.

Quantum süperpozisyonu anlamak için çift yarık deneyi çok güzel bir örnek. Bu deney ayrıca modern fiziğin temel taşlarından olan dalga/parçacık ikiliğini de çok güzel bir şekilde ortaya koyuyor. Deney için bir parçacık (elektron) kaynağı, üstünde çok ufak yarıklar oluşturacağımız bir perde ve parçacıkların çarptıkları zaman aydınlık bir iz bırakacağı bir ekran gerekiyor. Önce perdenin tam ortasına attığımız tek yarık ile başlıyoruz. Elektronlar yarıktan geçip ekranın üstünde tam yarığın karşısında olacak şekilde iz bırakıyorlar. Bu iz kırınım etkilerinden dolayı yarıktan biraz daha geniş. Beklendiği gibi bir sonuç, bir sıkıntı yok. Çift yarıklı bir perdede deneyi tekrarladığımız zaman elektronların parçacık olmalarından ötürü bir değil iki tepeli bir desen görmeyi bekliyoruz. Fakat böyle olmuyor. Ekranda birçok aydınlık ve karanlık alandan oluşan bir desen görüyoruz. Ve bu desen iki kaynaktan çıkmış dalgaların oluşturacağı girişim deseninin aynısı.

Elektronlar parçacık olmalarına rağmen dalga özelliği gösterip ekranda girişim deseni oluşturuyorlar. Böylece bir dalga/parçacık ikiliğine tanıklık etmiş oluyoruz. Peki, kaynaktan çıkan milyonlarca elektronun yarısı bir yarıktan diğeri öbür yarıktan geçip, dalga gibi davranıp girişim deseni oluşturmalarını hayal etmesi çok zor olmayabilir. Fakat eğer milyonlarca elektron yerine deneyi tek elektronlarla yaparsak? Her seferinde sadece bir elektron ekrana çarpacak şekilde elektron akışını azaltırsak ne olur? Bu sefer parçacık olarak davranıp iki tepe mi oluştururlar?



süperpozisyon halindeki elektron aynı anda iki yarıktan birden geçmiş gibi kendisi ile girişim gösteriyor! Yahu olur mu öyle şey, ben elektronların hangi yarıktan geçtiğini görmek istiyorum diyorsanız bir de öyle tekrarlayalım deneyi. Üst yarıktan bir elektron geçtiğinde sinyal gönderecek bir sensör yerleştirelim.



İlk başta bekleyip de göremediğimiz iki tepeli desen tek elektronlu deneyde yarıkları gözlemleyen sensör koyunca gözüktü! Gözlem, süperpozisyon halindeki elektronu üst veya alt yarık durumlarından birine çökertiyor ve dalga özelliğinin kaybolmasına yol açıyor. Tabii ki olay sensörün fiziksel varlığı değil, eğer sensörün fişini çekerseniz girişim desenleri geri geliyor.

Direk çift yarık deneyi üzerinden geliştirilen bir quantum teknolojisi (en azından şimdilik) olmasa da süperpozisyonun gerçekliğini ve quantum dünyasıda olayların sezgilerimizin dışında işlediğinin güzel bir örneği. Quantum bilgisayar ve quantum iletişim gibi teknolojiler ise direk süperpozisyon ve dolanıklık üzerinden çalışıyorlar. Bu yüzden basit prensiplerini bilmenin kimseye bir zararı olmaz :)

V vektör:

Matrisler hakkında konuşmadan quantum kapıları hakkında konuşamayız ve vektörler hakkında konuşmadan matrisler hakkında konuşamayız. Öyleyse başlayalım. Quantum mekaniği ve hesaplama dilinde, vektörler, parantez kelimesinin ikinci yarısından gelen ket adı verilen kabul edilebilir oldukça garip bir pakette tasvir edilmiştir. Ve o tarafa bakıyorlar. İşte bir ket vektörü: | u>, burada u vektördeki değerleri temsil eder. Yeni başlayanlar için, kıvrım (| 0>) ve kıvrılma (| 1>) durumlarında elektron şeklinde qubitler için duracak olan iki ket, | 0> ve | 1> kullanacağız. . Bu vektörler, tabiri caizse, herhangi bir sayıya yayılabilir. Ancak, bir yukarı / aşağı elektron qubiti gibi bir ikili durum söz konusu olduğunda, sadece iki tane vardır. Yani, yükselen sütun vektörleri gibi görünmek yerine, iki yükseklikte yığılmış sayılara benziyorlardı. | 0> şöyle görünür:

/ 1 \
\ 0 /

Şimdi, kapılar / matrislerin yaptığı bu durumları, bu vektörleri, bu ketleri, bu sayı sütunlarını yepyeni olanlara dönüştürmektir. Örneğin, bir kapı yukarı durumu (| 0>) büyü gibi aşağı duruma (| 1>) dönüştürebilir:

/ 1 \ → / 0 \
\ 0 / \ 1 /

Bir vektörün diğerine dönüşümü, matris çarpımı ile gerçekleşir. Bununla birlikte, Heisenberg'in belirsizlik ilkesinin sırlarını da iyi anlamanız gerekebilir. Bir quantum kapısı için genellikle bir matris kullanılır. dığımızı söylemek yeterlidir.

2^n x 2^n = toplam matris elemanı sayısıdır. Burada n, quantum geçidinin üzerinde çalıştığı qubit sayısıdır. Bir qubit ile 4'tür. İki ile 16'dır. Üç ile 64'tür.

Quantum bilişimi için doğrusal cebir:

Doğrusal cebir, quantum bilişiminin dilidir. Quantum programları uygulamak veya yazmak için bunu bilmeniz gerekmese de, doğrusal cebir genellikle qubit durumları ile quantum işlemlerini açıklamak ve quantum bilgisayarın bir dizi yönergeye yanıt olarak ne yapacağını tahmin etmek için yaygın olarak kullanılır.

Quantum fiziğinin temel kavramlarına aşina olmanın quantum bilişimini anlamanıza yardımcı olması gibi, bazı temel doğrusal cebir bilgilerine sahip olmak da quantum algoritmalarının nasıl çalıştığını anlamanıza yardımcı olabilir. En azından, **vektörler** ve **matris çarpımı** hakkında bilgi sahibi olmanız gerekir. Bu cebir kavramlarıyla ilgili bilgilerinizi tazelemeniz gerekiyorsa temel bilgileri kapsayan bazı öğreticiler aşağıda verilmiştir:

- Doğrusal cebir hakkında Jupyter not defteri öğreticisi
- Karmaşık aritmetik hakkında Jupyter not defteri öğreticisi
- Quantum Hesaplama için Doğrusal Cebir
- Doğrusal Cebir ile İlgili Temel Bilgiler
- Quantum Hesaplama El Kitabı

Kuantum bilişimini anlama konusunda, bir kubitin 1 veya 0 durumunda ya da bir süper konum veya her ikisinde olduğunu gördünüz. Doğrusal cebir kullanılarak bir kubitin durumu, vektör olarak tanımlanır ve tek sütunlu **matris** $\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}$ ile temsil edilir. Bu ayrıca **kuantum durum vektörü** olarak da bilinir ve $|a|^2 + |b|^2 = 1$ gereksinimini karşılamalıdır.

Matrisin öğeleri kubitin, $|a|^2$ öğesinin sıfıra çökme olasılığı ve $|b|^2$ öğesinin bire çökme olasılığı olduğu iki durumdan birine çökme olasılığını temsil eder. Aşağıdaki matrislerin tümü, geçerli kuantum durum vektörlerini temsil eder:

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{-1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \text{ ve } \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{i}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}.$$

Kuantum bilgisayarlar ve kuantum simülatörleri konusunda, kuantum işlemlerinin bir kubitin durumunu değiştirmek için kullanıldığını da gördünüz. Kuantum işlemleri bir matris ile de gösterilebilir. Bir kuantum işlemi bir kubite uygulandığında, bunları temsil eden iki matris çarpılır ve elde edilen yanıt, kubitin işlemden sonraki yeni durumunu temsil eder.

Matris çarpımı ile temsil edilen iki yaygın kuantum işlemi aşağıda verilmiştir.

X işlemi, Pauli matrisi X,

$$X = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix},$$

ile temsil edilir ve bir kubitin durumunu 0'dan 1'e (veya tam tersi) çevirmek için kullanılır. Örneğin,

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

'H' işlemi, Hadamard dönüştürme H,

$$H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix},$$

ile temsil edilir ve burada gösterildiği gibi, bir kubiti her iki duruma da çökme olasılığı olan bir süper konum durumuna sokar

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right)^2 = \frac{1}{2}.$$

Bir kuantum işlemini temsil eden matrisin tek bir gereksinimi vardır: Bir **birim** matris olmalıdır. Matrisin **tersi**, matrisin **eşlenik devriğine** eşitse bu bir birim matristir.

İki kubitli durumları temsil etme

Yukarıdaki örneklerde, bir kubitin durumu, tek sütunlu bir matris olan $\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}$ kullanılarak açıklandı ve buna bir işlemin uygulanması iki matrisin çarpılmasıyla açıklandı. Ancak kuantum bilgisayarlar birden fazla kubit kullanır, o halde iki kubitin birleşik durumunu nasıl açıklarsınız?

Her kubitin bir vektör alanı olduğunu ve bu nedenle doğrudan çarpılamayacaklarını unutmayın. Bunun yerine, ayrı ayrı vektör alanlarından yeni bir vektör alanı oluşturan ve $\otimes$ sembolüyle temsil edilen ilgili bir işlem olan **tensör çarpımını** kullanırsınız. Örneğin, iki kubit durumunun tensör çarpımı olan $\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}$ ve $\begin{bmatrix} c \\ d \end{bmatrix}$ hesaplanır

$$ \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} c \\ d \end{bmatrix} =\begin{bmatrix} a \begin{bmatrix} c \\ d \end{bmatrix} \\ b \begin{bmatrix}c \\ d \end{bmatrix} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ac \\ ad \\ bc \\ bd \end{bmatrix}. $$

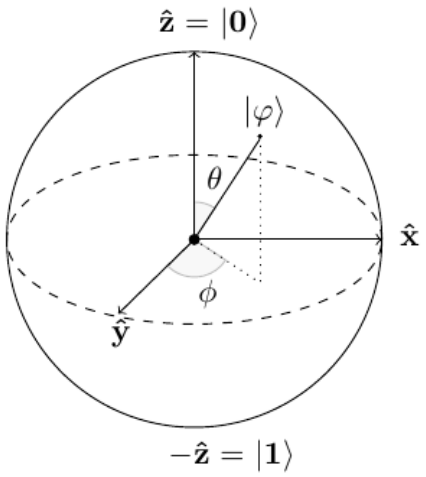
Sonuç, her öğenin bir olasılığı temsil ettiği dört boyutlu bir matristir. Örneğin, ac, iki kubitin 0 ve 0 değerine çökmesi olasılığıdır, ad ise 0 ve 1 olasılığıdır ve bu şekilde devam eder.

Tek bir $\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}$ kubit durumunun bir kuantum durumunu temsil etmesi için $|a|^2 + |b|^2 = 1$ gereksinimini karşılaması gerektiği gibi, $\begin{bmatrix} ac \\ ad \\ bc \\ bd \end{bmatrix}$ iki kubitli durumunun da $|ac|^2 + |ad|^2 + |bc|^2 + |bd|^2 = 1$ gereksinimini karşılaması gerekir.

Pauli kapıları:

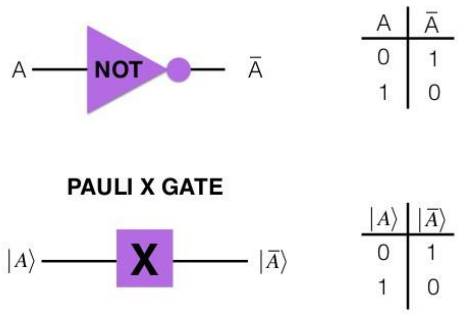
Pauli kapıları, sadece serin bir isme sahip olmakla kalmayan, aynı zamanda modern fiziğin en iyi bilinen iki prensibinde ölümsüzleştirmeyi başaran Wolfgang Pauli'nin adını almıştır: ünlü Pauli dışlama ilkesi ve korkunç Pauli etkisi.

Pauli kapıları, tek bir elektronun spinindeki değişiklikleri hesaplamak için inanılmaz derecede yararlı olan daha iyi bilinen Pauli matrislerine (aka Pauli spin matrisleri) dayanmaktadır. Günümüzün quantum kapılarında bir qubit için kullanılacak elektron spini tercih edilen özelliktir.



3B uzayda karşılık gelen ekseni boyunca bir elektronun dönüş yönünü değiştirme gücüne sahip olduğu düşünülebilir. Tabii ki, quantum dünyasındaki her şey gibi, bir yakalama var: bu sıradan 3D alanımız değil, çünkü hayali bir boyut içeriyor. Kapılar bir seferde bir ve sadece bir qubit üzerinde hareket eder. Bu, sadece 4 elementli basit, 2 x 2 matris anlamına gelir.

Pauli X-kapısı klasik bir NOT geçidine karşılık gelir. Bu nedenle, X-geçidine quantum NOT geçidi de denir.



A	$\bar{A}$
0	1
1	0

$\|A\rangle$	$\|\bar{A}\rangle$
0	1
1	0

Gerçek bir gerçek dünya ortamında, X-kapısı genellikle bir elektronun dönme durumunu | 0> bir dönme durumuna | 1> veya tam tersine çevirir.

|0> --> |1> OR |1> --> |0>

Büyük harf "X" genellikle Pauli X-geçidi veya matrisinin kendisinde bulunur. X şöyle görünüyor:
/ 0 1 \
\ 1 0 /

Uygun gösterim açısından, bir qubite quantum geçidi uygulamak, bir ket vektörünü bir matrisle çarpma meselesidir. Bu durumda, spinet up ket vektörü | 0> Pauli X-geçidi veya X matrisi ile çarpıyoruz. İşte X | 0> şöyle görünür:
/ 0 1 \ /1\
\ 1 0 / \0/

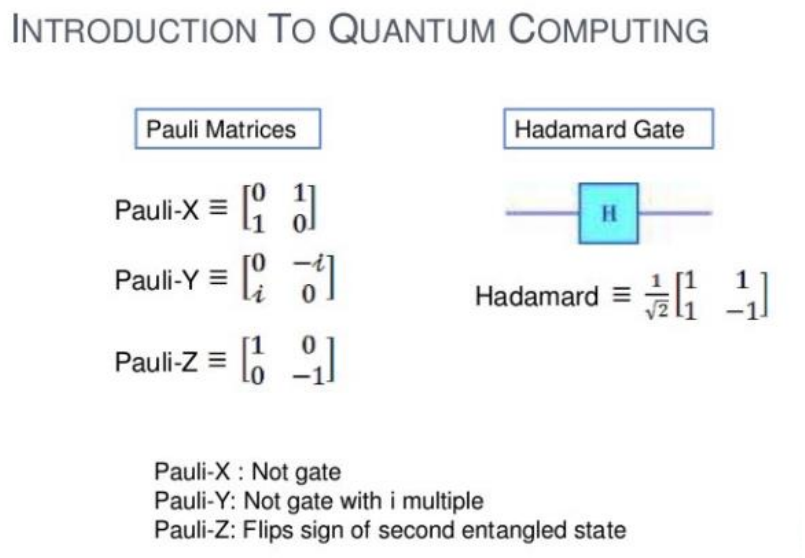
Matrisi her zaman ket'in soluna yerleştirdiğinizi unutmayın. Elementlerin tüm önemli sırasını göz önünde bulundurarak, quantum NOT-geçidini qubitimize (bu durumda bir elektronun spin-up durumu) uygulamak için tam gösterim şöyle görünür:

X|0> = / 0 1 \ /1\ = /0\ = |1>
\ 1 0 / \0/ \1/

Bir aşağıya çekme vektörüne uygulandığında, tam gösterim şöyle görünür:
X|1> = / 0 1 \ /0\ = /1\ = |0>
\ 1 0 / \1/ \0/

Tek bir elektron şeklindeki bir qubitin quantum geçidinden geçmesi ve diğer tarafının dönüşü tamamen ters çevrilmiş olmasıdır.

Pauli Y ve Z kapıları:



Üç Pauli kapısından Pauli Y-kapısı X kapısına çok benziyor, ancak normal 1 yerine bir i (evet, -1'in kare kökü) ve sağ üstte negatif bir işaret var. Y şöyle görünüyor:

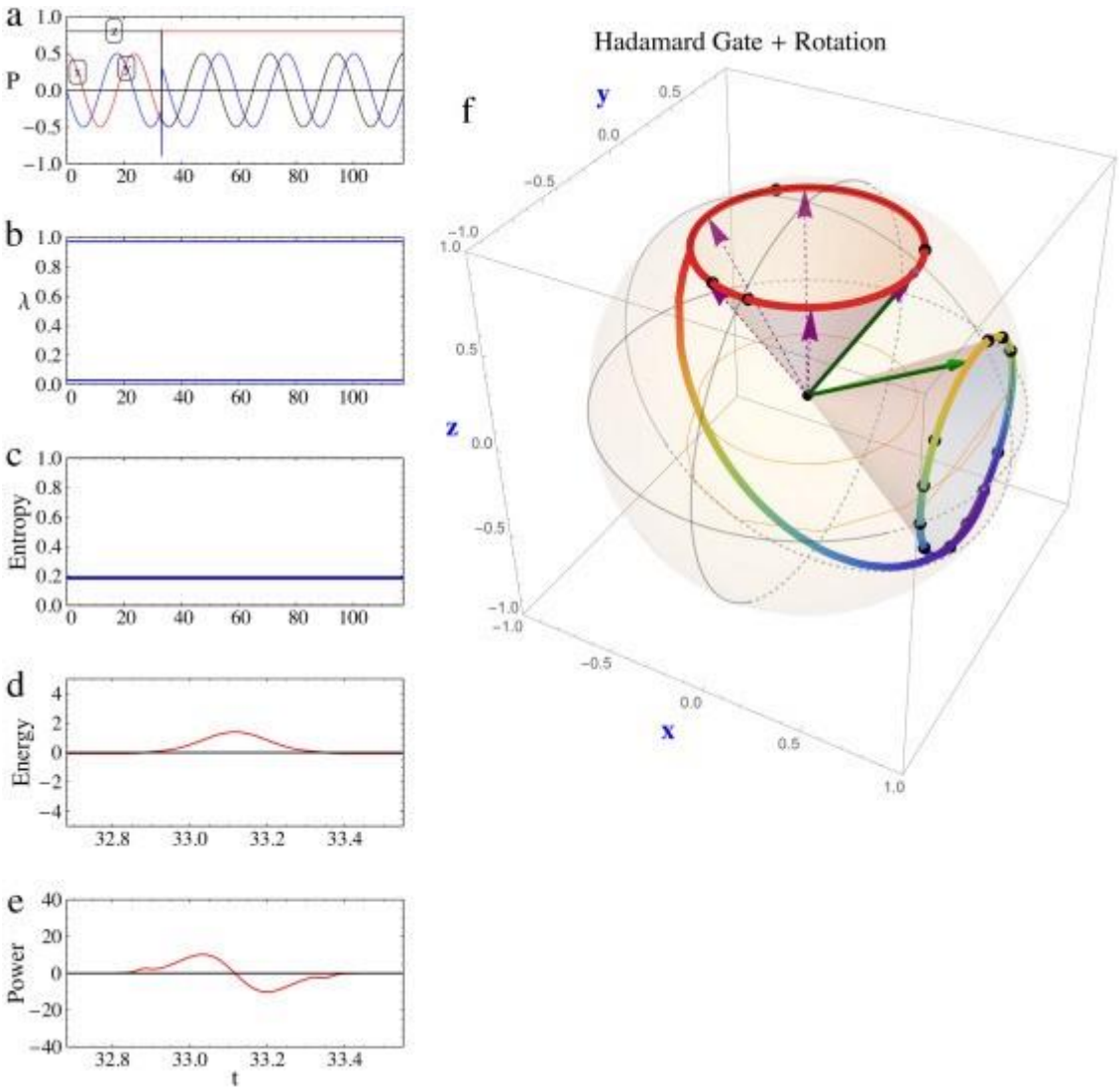
/ 0 -i \
\ i 0 /

Pauli Z-kapısı da yukarıdaki X-kapısının ayna görüntüsüne benziyor, ancak negatif bir işaret alır. Z şöyle görünüyor:
/ 1 0 \
\ 0 -1 /

Y geçidi ve Z geçidi de qubit elektronun dönüşünü değiştirir.

Hadamard kapısı:

Pauli kapıları bazı açılardan klasik mantık kapılarına çok benzemekle birlikte, Hadamard kapısı veya H-kapısı, quantum hesaplamada her yerde ve iyi bir nedenle ortaya çıkıyor. Hadamard kapısı, spin-up gibi belirli bir quantum durumunu, aynı anda hem spin-up hem de spin-down süperpozisyonu gibi bulanık bir quantum haline dönüştürmek için karakteristik olarak quantum kapasitesine sahiptir.



Bir H-geçidi üzerinden bir spin-up veya spin-down elektronu gönderdikten sonra, ucunda duran bir kuruş gibi olacak, tam 50/50 olasılıkla kafa (spin-up) veya kuyruk (spin) olacak - aşağı). Bu H-kapısı, herhangi bir quantum programında ilk hesaplamayı gerçekleştirmek için son derece yararlıdır, çünkü qubitleri tam quantum güçlerinden yararlanmak için önceden ayarlar veya başlatır.

Diğer quantum kapılar:

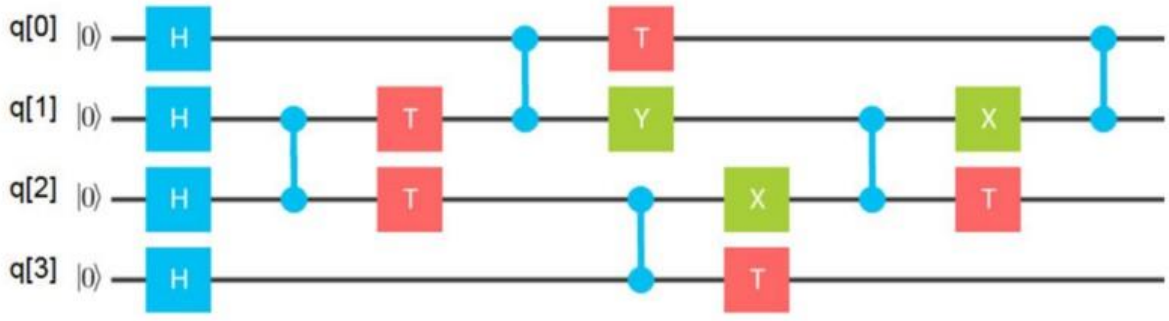
Gate	Transformation on Bloch sphere (defined for single qubit)
X	π-rotation around the X axis, Z→−Z. Also referred to as a bit-flip.
Z	π-rotation around the Z axis, X→−X. Also referred to as a phase-flip.
H	maps X→Z, and Z→X. This gate is required to make superpositions.
S	maps X→Y. This gate extends H to make complex superpositions. (π/2 rotation around Z axis).
$S^\dagger$	inverse of S. maps X→−Y. (-π/2 rotation around Z axis).
T	π/4 rotation around Z axis.
$T^\dagger$	-π/4 rotation around Z axis.

Diğer kapıların da var olduğu bilinmelidir, bu yüzden en yaygın olarak kullanılan diğer quantum kapılarının bazılarının hızlı bir listesi:

- Toffoli kapısı
- Deutsch kapısı
- Takas kapısı (ve takas kapısı kare kökü)
- NOT-geçit kare kök
- Kontrollü-NOT geçidi (C-NOT) ve diğer kontrollü girişler

Nasıl NOT + OR = NOR kapıları veya AND + NOT = NAND kapıları kombinasyonu ile herhangi bir klasik hesaplama yapabileceğiniz gibi, quantum kapıları listesini basit bir evrensel quantum kapıları kümesine indirebilirsiniz.

Quantum geçidinden geleceğe bakış:



(a) A 4x1 universal random quantum circuit

(b) The "bristle-brush" pattern formed by the gates applied to qubit q[1]

5.7. Quantum Bilgisayar ve Quantum Simülatör

Quantum bilgisayarlar hala geliştirme süreçlerinin ilk aşamalarındadır. Donanım ve bakım pahalıdır ve çoğu sistemler üniversitelerde ve araştırma laboratuvarlarında bulunur. Ancak teknoloji gelişmektedir ve bazı sistemlere yönelik sınırlı genel erişim sunulmaktadır.

Quantum simülatörleri, klasik bilgisayarlarda çalışan ve qubitlerin farklı işlemlere nasıl tepki vereceğini tahmin eden bir ortamda quantum programları çalıştırıp test etmeyi mümkün hale getiren yazılım programlarıdır.

Quantum donanımı

Bir quantum bilgisayarın başlıca üç bölümü vardır:

- Qubitleri barındıran bir alan,
- Sinyalleri qubitlere aktarmaya yönelik bir yöntem
- Program çalıştırıp yönergeler göndermeyi sağlayan klasik bir bilgisayar.

Qubitler için kullanılan quantum malzemeleri kırılgandır ve çevresel müdahalelere karşı oldukça duyarlıdır. Bazı qubit depolama yöntemlerinde, qubitleri barındıran birim, bunların uyumluluğunu en üst düzeye çıkarmak için mutlak sıfırın hemen üzerinde bir sıcaklıkta

tutulur. Diğer qubit barındırma türlerinde, titreşimleri en aza indirmeye ve qubitleri kararlı hale getirmeye yardımcı olmak için bir vakum haznesi kullanılır.

Sinyaller; mikrodalgalar, lazer ve voltaj gibi çeşitli yöntemler kullanılarak qubitlere gönderilebilir.

Quantum bilgisayarlar, doğru bir şekilde çalışmak üzere çok sayıda zorlukla karşılaşır. Quantum bilgisayarlarda hata düzeltmesi önemli bir sorundur ve ölçeği artırmak (daha fazla qubit eklemek) hata oranını artırır. Bu sınırlamalar nedeniyle, bir quantum bilgisayarın masaüstünüze gelmesi ancak uzak bir gelecekte mümkün olsa da, ticari olarak uygun laboratuvar tabanlı bir quantum bilgisayarın kullanıma sunulması daha yakındır.

Quantum simülatörleri:
Klasik bilgisayarlarda çalışan quantum simülatörleri, quantum algoritmalarının bir quantum sisteminde hesaplanmasının simülasyonunu yapmanıza olanak sağlar. Microsoft Quantum geliştirme seti (QDK), diğer özelleştirilmiş quantum simülatörlerinin yanı sıra tam durumlu bir vektör simülatörü içerir.

Microsoft topolojik qubitlere dayalı bir quantum bilgisayar geliştirmektedir. Topolojik qubit, içinde bulunduğu ortamdaki değişikliklerden daha az etkilenir, dolayısıyla gerekli dış hata düzeltme derecesi azalır. Topolojik qubitler daha yüksek kararlılık ve ortam gürültüsüne daha fazla dayanıklılık gösterir; diğer bir deyişle daha uzun süre ölçeklenebilir ve güvenilirliği sürdürebilir. Microsoft, quantum bilgisayarları gelecekte geliştiricilerin erişebileceği hale getirmek için quantum donanımı üreticileri olan IonQ, Honeywell ve QCI ile iş ortaklığı kuruyor. Geliştiriciler, Azure Quantum platformundan yararlanarak quantum programları yazmak ve bunları uzaktan çalıştırmak için Microsoft Quantum geliştirme setini (QDK) ve Q# dilini kullanabilir.

Quantum hesaplama:
Quantum bilgisayarda veya quantum simülatöründe hesaplamalar gerçekleştirmek için temel bir süreç izlenir:

- Qubitlere erişme
- Qubitleri istenen durumda başlatma
- Qubitlerin durumlarını dönüştürecek işlemleri gerçekleştirme
- Qubitlerin yeni durumlarını ölçme

Qubit başlatma ve dönüştürme işlemi, **quantum işlemleri** (bazen quantum geçitleri olarak adlandırılır) kullanılarak yapılır. Quantum işlemleri, klasik bilişimdeki AND, OR, NOT ve XOR gibi mantıksal işlemlere benzer. Bir işlem, qubitin durumunu 1'den 0'a çevirmek veya bir qubit çiftini dolanık hale getirmek gibi temel eylemlerden, süper konumlu bir qubitin iki

değerden birine çökmesi olasılığını etkilemek için seri halindeki birden çok işlemi kullanmaya kadar farklılık gösterebilir.

6. Referanslar

1) The mathematics of quantum mechanics Martin Laforest, PhD
2) Antenna Theory Analysis And Design, Third Edition, Constantine A. Balanis, Wiley, 2005
3) Antennas and Wave Propagation, By: Harish, A.R.; Sachidananda, M. Oxford University Press, 2007.
4) Quantum radar, Lorenzo Maccone and Changliang Ren, 7 May 2019, Cornell University.
5) Photon As A Quantum Partıicle, BIwo Bialynicki-Birula, Center for Theoretical Physics, Polish Academy of Sciences Lotników 32/46, 02-668 Warsaw, Poland and Institute of Theoretical Physics, Warsaw University Hoża 69, 00-681 Warsaw, Poland. Acta Physica Polonica Vol. 37 (2006).
6) Entanglement, quantum phase transitions and quantum algorithms, Rom´an ´Oscar Or´us Lacort, Barcelona, July, 2006, Universitat de Barcelona, Departament d'Estructura i Constituents de la Mat`eria.
7) Fundamentals of Quantum Physics, Textbook for Students of Science and Engineering, Springer Heidelberg New York Dordrecht London.
8) Quantum Physics A Fundamental Approach to Modern Physics, John S. Townsend, - University Science Book Sausalito, California 2010.
9) Quantum Radar, Marco Lanzagorta, ITT Exelis, 2011.
10) Düzen Ve Düzensizlik: Enerjinin Hikayesi, Joseph Smith, Youtube.