

*“Zamanın bir uzunluğu,
bir de genişliği vardır!”*
- Ömer Hayyam -

I Fiziksel Bilimlerde Zaman Kavramı

Temel fizik yasaları zamana göre simetriktir. Bu yüzden zamanın mutlak akıyor gibi algılanışını yıkabilmek için illa Görelilik veya Kuantum gibi özel bir kuramın bilinmesi gerekmiyor. Ama zamanın daha iyi an’laşılması için bunlardan en azından haberdar olmakta fayda var.. Zira mekan, zaman ve madde kavramlarının içinin ne ile ve nasıl doldurulduğu bilginin derinleşmesiyle sürekli değişiyor. Olguların enerji kullanılabilirliğini azaltacak şekilde evrilme eğilimi ise sabit olan gündelik algı ölçeğinde bu tür değişikliklere yol açan şeylerin doğrudan gerçekleşip, ayımsanma olasılığını düşürüyor.

I-1 Görelilik Kuramı’nda Zamanın Mutlaklığının Yitişi

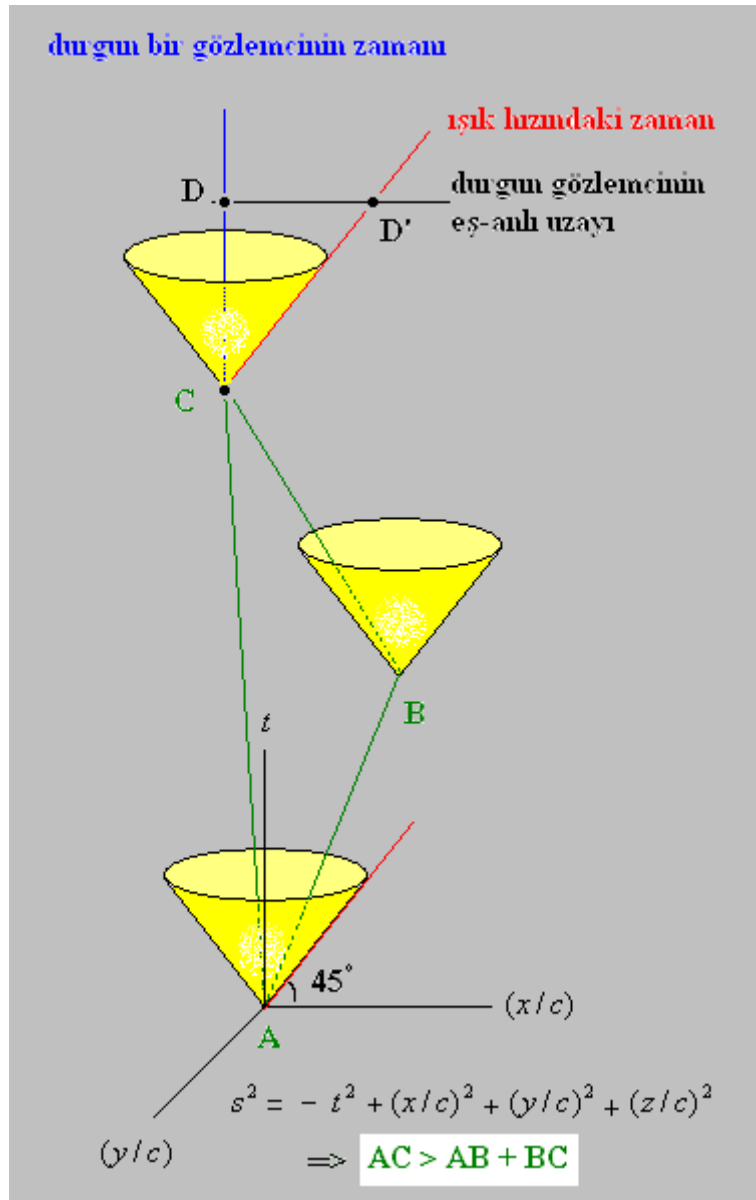
Tüm eylemsiz referans çerçevelerinde ^[0] ışık hızının aynı büyüklükte olduğunu ve fizik yasalarının benzer şekilde işlediğini belit kabul eden Özel Görelilik Kuramı zaman ve mekanın birbirinden ayrık düşünülemeyeceği bir doğa kurgusu gerektiriyor. Burdan yola çıkarak, kuram zamanın akış hızının gözlemcinin mekansal hızına göreli olduğu sonucuna varıyor. Yani zamanın akış hızının mutlak olmadığını söylüyor.

Aslında bu kuramın çizdiği tabloda zaman ayaklarımızın altından akmıyor, biz onun üzerinde kayıyoruz. Kendi hareketimizi onun hareketi sanıyoruz ve mekanda hızlandıkça, onda yavaşlıyoruz.

Resim-1 Özel Görelilik Kuramı’nın doğa kurgusunu temsil eden Minkowski Uzayı’nda yer değişiminin nasıl tanımlandığını gösteriyor. A, B ve C 4 boyutlu uzayda (/mekan-zamanda) gerçekleşen birer olayı gösteriyor. 4 boyutlu uzayı resmetmek zor olduğu için çizimlerde mekan boyutlarından biri ihmal edilmiş durumda.

3 boyutlu uzayda bir olaydan sonra saçılan ışık parçacıklarının mekan-zaman yol izleri bir koni yüzeyi tanımlıyor ve olayda oluşan herhangi bir şeyin zamansal yol izi bu koninin dışına çıkamıyor ^[1]. Bu temsilde sabit mekansal hızdaki gözlemcilerin zamansal yol izlerine doğrular, ivmeli mekansal hızdaki gözlemcilerin zamansal yol izlerine ise eğriler karşılık geliyor.

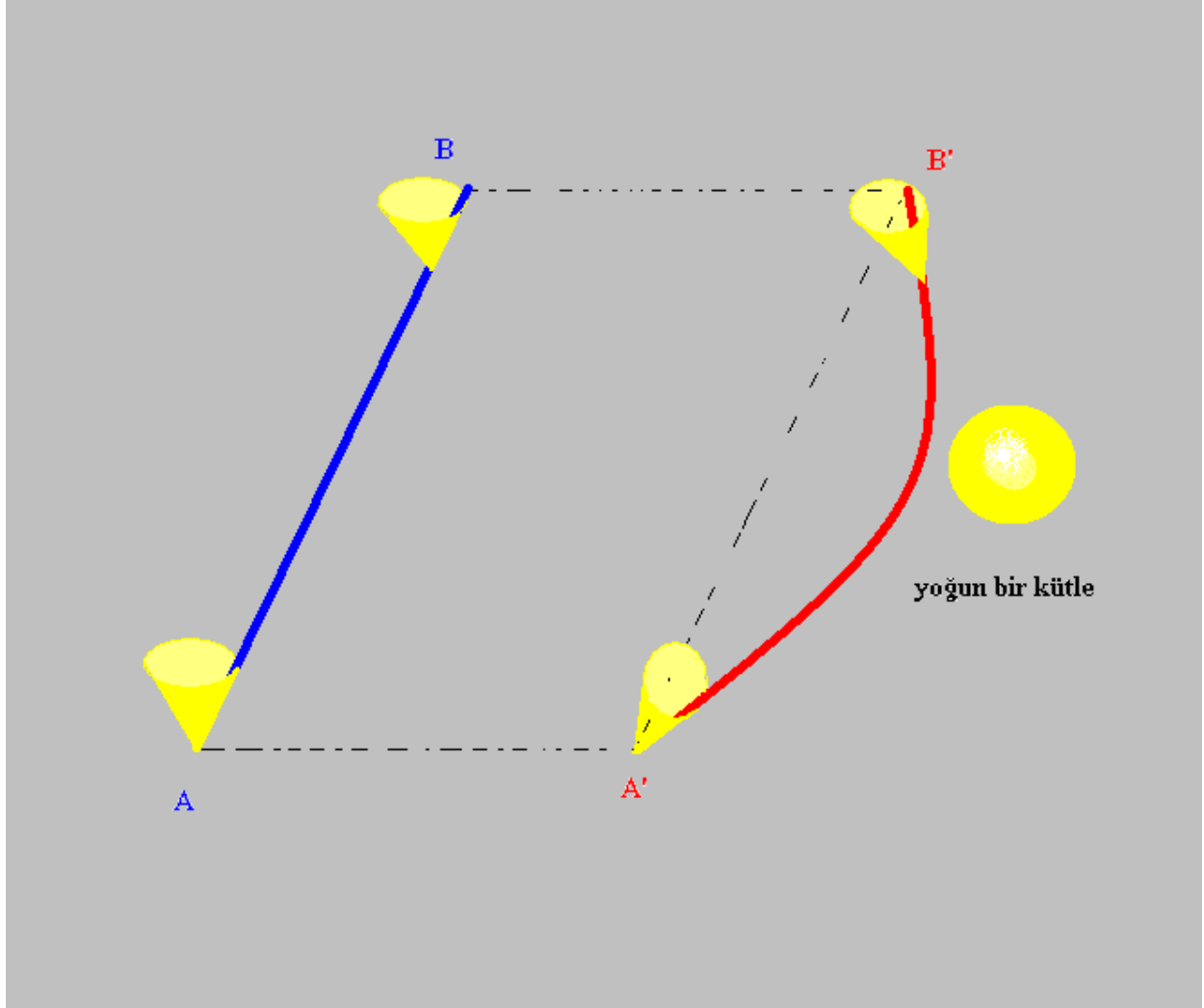
Resimdeki A noktasında iki ikiz kardeşten birinin ışık hızına yakın bir mekansal hızda bir uzay aracına bindiği düşünölsün. Bu kardeş uzay aracıyla önce bir gezegene gitsin (B noktası), sonra da dünyaya geri dönüp, ikiziyle buluşsun (C noktası). Bu bakışimsız (/anti-simetrik) örnekte C noktasındaki buluşmada ikizlerden yolculuk yapanının diğerine göre daha az yaşlanmış olması gerekiyor. Çünkü onun gittiği zamansal yol (vektör boyu için verilen denklem kullanılarak gösterilebilen) üçgen eşitsizliğine göre kardeşininkinden daha kısa ^[2].



Kuramda uzaydaki bir noktada bulunan bir gözlemcinin eş-anlı uzayı (/şimdi) doğal olarak onun mekansal hızıyla ilintili oluyor (Resim-2). Yani yanyana olan iki mekan-zaman noktasında bulunan ama mekansal hızları farklı olan iki gözlemcinin eş-anlı uzayları da farklı olabiliyor ve böylece aynı anda olma durumu öznelleşiyor.

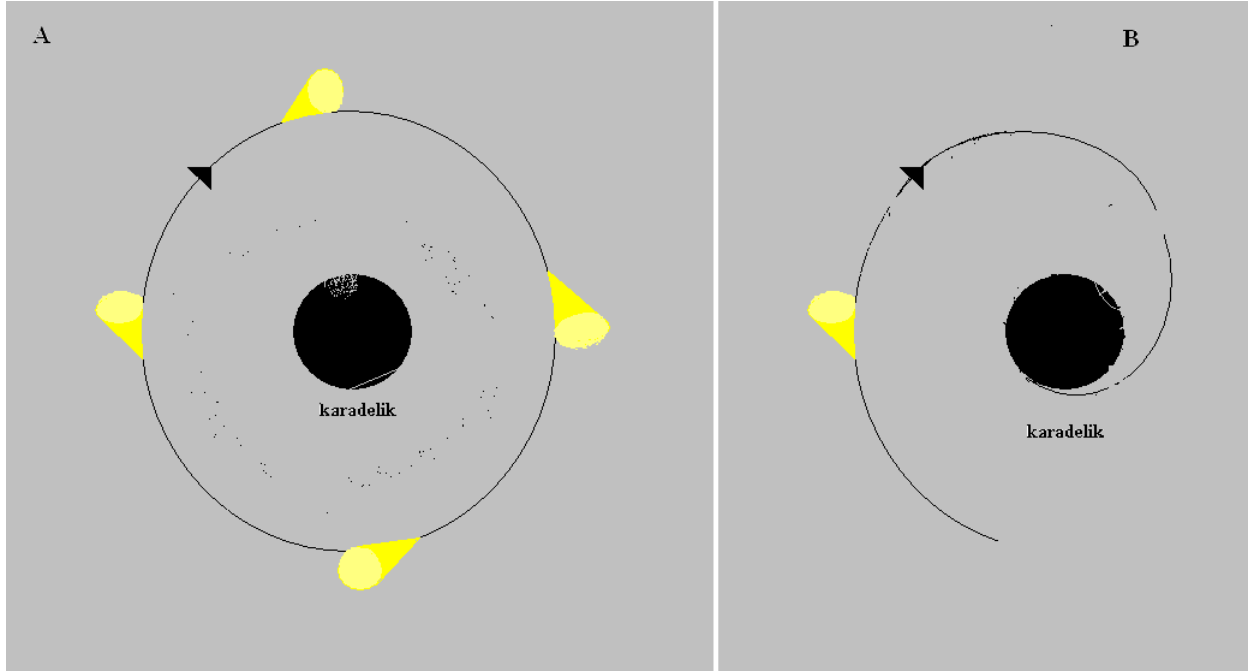
Şimdinin mutlaklığının yitişi daha derinlemesine bakılınca zamanın akış yönünün mutlak olmayışını doğuruyor: Bir gözlemciye göre bir A olayı geçmişte, bir B olayı gelecekteyken; bir diğer gözlemciye göre aynı B olayı, aynı A olayından önce olabiliyor! (Resim-3)

Genel Görelilik Kuramı'nda ise kütle çekimi alanındaki bir hareketin ivmeli hareket etmekle temelde özdeş olduğu anlaşıyor. Madde (/kütle) ve mekan-zamanın etkileştiği, madde-madde etkileşimlerinin bunun bir türevi olduğu gösteriliyor. Maddenin mekan-zamanı bükmesi sonucunda yukarıdaki resimlerde zamansal yol izlerini temsil eden doğrular eğrilerle yer değiştiriyor.



Resim-4: Madde ile Mekan-Zaman Etkileşimi

Boş uzayda iki eş uzunlukta olan zamansal yollardan (Resim-4, [AB] ve [A'B']) birisi daha yoğun bir kütleçekim alanından geçiyorsa, daha çok eğriliyor ve böylece boyu kısalıyor. Bu yüzden o zamansal yolu giden bir gözlemci, aynı mekansal hızda ama diğer zamansal yolu giden bir gözlemciden az yaşlanmış oluyor.



Resim-5: Karadelikler

Kütleçekim alan yoğunluğu belirli bir eşik değerden yüksek olan kaynaklardan ışık hızındaki bir gözlemci bile kaçamıyor. Karadelik olarak adlandırılan böyle bir kaynağın olay ufkunda (/yakın komşuluğunda) yörüngeye giren sabit mekansal hızdaki bir gözlemci için (Resim-5 A) gidilebilecek toplam zamansal yol belirli bir sürede sabitleniyor. Çünkü temsildeki zamansal yolu kapalı bir eğri oluşturuyor.

Resim-5 A'daki yörüngenin yarıçapı (r) sıfıra giderken gözlemcinin gittiği zamansal yol ($-2\pi r$), yani zamansal hızı sıfıra gidiyor. Böylece zaman gözlemci için neredeyse duruyor. Yarıçap sonsuza giderken ise gözlemcinin zamansal hızı sonsuza gidiyor ve onun için zaman sonsuz hızda akıyor. Makul bir yarıçapta ise belirli süre geçtikten sonra gözlemci yörüngeye girdiği ilk ana geri dönmüş oluyor ve her şey yeniden yaşanmaya başlıyor. Ve bu kısır döngü içrek ya da dışrak bir müdahale olmadığı sürece devam edip, duruyor.

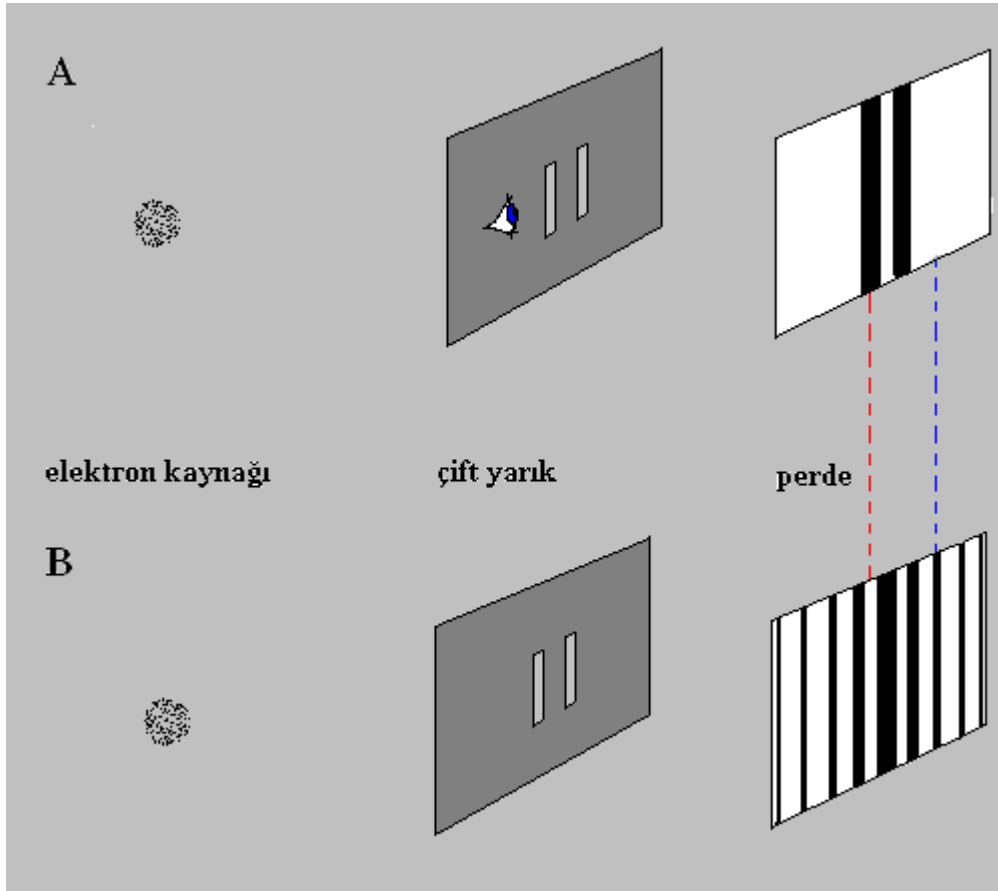
Karadeliğin üzerine düşen bir gözlemcinin (Resim-5 B) düşüş sırasındaki algılayabildiği toplam zamansa düşüşün başladığı yükseklik arttıkça azalıyor. Karadeliğin içine girdikten sonrası ise büyük bir giz..

Günlük yaşantıda yüksek hızlarda mekanda hareket edilmediği ve neredeyse tekdüze bir kütleçekim alanı içinde bulunduğu için zamanın akış hızı ve yönünde anlamlı değişimler gerçekleşmiyor. Fakat gezegenlerin yörüngeleri gibi birçok olgu sadece mekan-zamanı bir kabul eden görelilik denklemlerince tam olarak anlamlı hale geliyor. Böylece Görelilik Kuramı alışıldık olanı kapsayacak ama farklı bir fiziksel gerçeklik anlayışı gerektirmiş oluyor.

I-2 Kuantum Mekaniği'nde Zamanın Mutlaklığının Yitişi

Kuantum Mekaniği de Görelilik Kuramı gibi alışıldık olanı kapsayacak ama yine farklı bir fiziksel gerçeklik anlayışı gerektiriyor: Kuantum Kuramı parçacık ve dalga ^[3] kavramlarının birbirinden ayrık düşünölemeyeceğini, doğanın parçacık veya dalga tanımlarının ancak kısmen yapılabilmesine olanak verecek bir kurguda olduğunu kabul ediyor. Bu bağlamda madde-madde ^[4] etkileşimleri Görelilik Kuramı'ndaki gibi madde-uzay etkileşimlerinin bir türevi olarak değil, parçacık ^[5] alışverişleri üzerinden gerçekleşen bir süreç olarak tanımlanıyor.

Mekanda Çift Yarıık Deneyi fiziksel gerçeklik anlayışının parçacık-dalga birlemesini içerecek şekilde genişletilmesi zorunluluğunu güzel bir şekilde örnekliyor. Bu deneyde bir elektron yarıklardan geçerken hangi yarıktan geçtiği öğrenilmek istenirse (Resim-6 A) parçacık davranışı, aksi taktirde (Resim-6 B) ise dalga davranışı gösteriyor: Gözlem yapıldığı durumda perde üzerinde elektronların varlandığı bazı noktalarda, gözlem yapılmadığı durumda hiç elektron varlanmıyor! (bkz: Resim-6, kırmızı eşleştirme doğrusu) Ya da tam tersi, gözlem yapılmadığı durumda perde üzerinde elektronların varlandığı bazı noktalarda, gözlem yapıldığı durumda hiç elektron varlanmıyor! (bkz: Resim-6, mavi eşleştirme doğrusu)

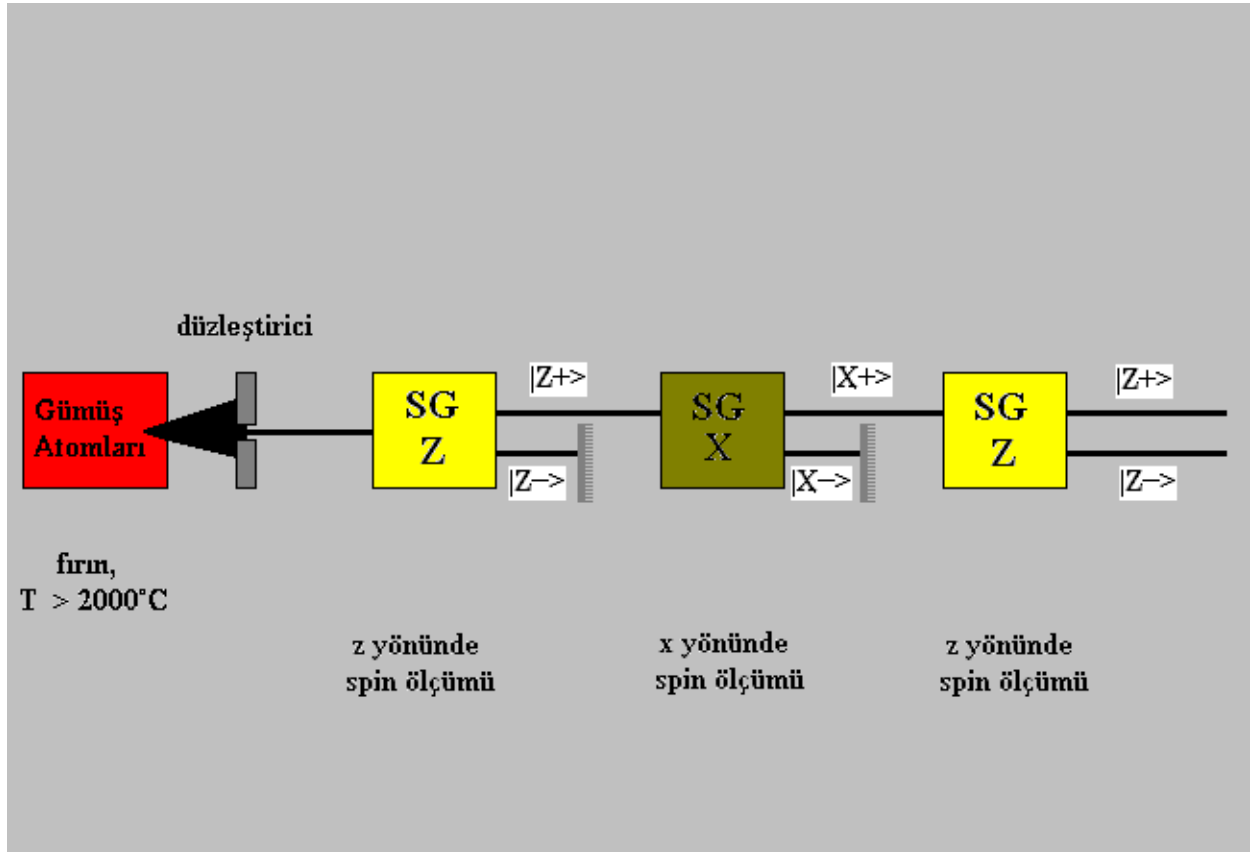


Resim-6: Mekanda Çift Yarıık Deneyi

Gözlemlenilmeyen elektron parçacığının uygun şartlarda ^[6] dalga gibi davranmasını Kuantum Mekaniği olası genliği, dalga fonksiyonu veya durum vektörü ^[7] kavram(lar)ı üzerinden açıklıyor: Elektronun dalga fonksiyonu yarıklarda kırınıyor ve kendisiyle girişiyor ^[8]. Elektron perdeye ulaşınca varlayıcı (/ölçümsel) bir etkileşime girmiş oluyor ve karmaşık bir fonksiyon olan dalga fonksiyonu kendisiyle yıkıcı olarak giriştiği noktalarda 0, yapıcı olarak giriştiği noktalarda ise 1 gerçel değerinde olan olasılık fonksiyonuna çöküyor.

Gözlem yapılması ise bu koşullarda dalga gibi davranma eğiliminde olan elektronu parçacık gibi davranmaya zorluyor: Gözlem için kullanılan ışık dalgası parçacık gibi davranıp, elektronla etkileşiyor ve bu varlayıcı etkileşim dalga fonksiyonunun daha perdeye ulaşmadan, yarıklarda gerçel uzaya çökmesine sebep oluyor. Bir anlamda, yarıklarda olasılıkları elde etmek için olasılık genliklerini indirgemek daha sonra olasılık işlemlerine olasılıklar üzerinden devam etmeyi gerektiriyor ve böylece girişim olasılığı ortadan kalkıyor.

Şartlar sağlandığı sürece dalga davranışının hüküm sürdüğü, varlayıcı nitelikteki etkileşimlerin de parçacık davranışını tetiklediği gibi bir tablo ortaya çıkıyor. Fiziksel gerçeklik anlayışını bu şekilde değiştirmemek için inat edilirse Resim-6 B’de bir parçacığın gözlemlenmediği için aynı anda iki yarıktan birden geçtiği iddia edilmiş oluyor ki fiziksel gerçeklik anlayışı daha tutarsız bir şekilde değişiyor.

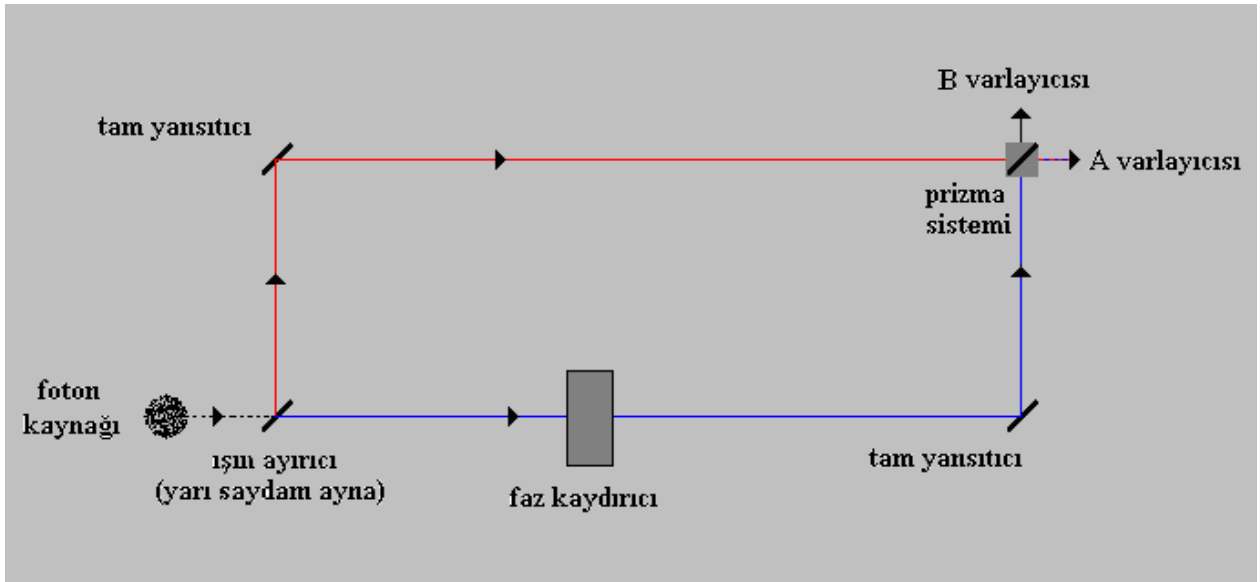


Resim-7: Stern-Gerlach Deneyi

Stern-Gerlach Deneyi (Resim-7) ile fiziksel gerçeklik anlayışını "bir gözlemin gözleneni etkilemesi"ni içerecek şekilde genişletme gereği iyice pekiyor. Bu deneyde bir atom demetinin z yönünde dönütü (/spini) ^[9] ölçülüp, bu yöndeki dönütü pozitif doğrultuda olan atomlar seçiliyor. Yani durum vektörü sadece pozitif z olasılık genliğini içeren atomlar kalıyor. Bu yeni demetin x yönünde dönütü ölçülüp, ondan da x yönündeki dönütü pozitif doğrultuda olan atomlar seçiliyor. Son demetin yine z yönünde dönütü ölçülmek istenirse, z yönündeki dönütü eşit sayıda pozitif ve negatif doğrultulu atom olduğu görülüyor. Üçüncü ölçüm öncesinde x yönündeki dönütü pozitif doğrultuda olan atomlar değil de, negatif doğrultuda olan atomlar seçiliyor olsa da bu sonuç değişmiyor.

Başta z yönündeki dönütü negatif doğrultulu atomlar elenmişti ve böylece atomların durum vektörü $|z+\rangle$ olmuştu. Üçüncü ölçüm öncesinde ise durum vektörünün $2^{-1/2}(|z+\rangle + |z-\rangle)$ olduğu bulundu ^[10]. Demek ki ikinci ölçüm ölçülen sistemi etkileyerek, onu ölçüm öncesi durumundan başka bir duruma evritmiş. Olasılık hesaplarıyla da desteklenebilen bu çıkarıma göre bir gözlem gözlenenin şimdisini değiştiriyor.

Mekanda Çift Yarıık Deneyi'nin değiştirilmiş bir düzeneğine bakıldığında gözlem ve gözlenin durumu ilişkisi daha karmaşık bir hale geliyor. Ertelenmiş Seçim (/delayed choice) Deneyi olarak bilinen bu düzenekte (Resim-8) elektron yerine ışığı oluşturan temel parçacık olan foton, çift yarıklı duvar yerine de yarı geçirgen bir ayna kullanılıyor.



Resim-8: Ertelenmiş Seçim Deneyi

Bu düzenekte bir foton demeti ışın ayırıcı ile iki eşit parçaya ayrılıyor. A (mavi) ve B (kırmızı) yollarından giden bu iki parça daha sonra prizma sistemi içinde yeniden birleştiriliyor ^[11] ve ışın sadece A varlayıcısına ulaşacak şekilde üçgen prizmadan çıkıyor ^[12]. Yollardan birisine ışını soğuracak bir engel konması durumunda ise ışının ikiye ayrılıp, kendisiyle girişebilme olasılığı kalmıyor ve her iki varlayıcı da eş oranda foton varlıyor ^[13].

Düzenekten sadece bir foton geçebilecek kadar ışın şiddeti azaltıldığında Mekanda Çift Yarıık

Deneyi'nin bir benzeri elde ediliyor: Tek bir fotonun dalga fonksiyonu yarı saydam aynada ikiye ayrılıyor ve üçgen prizma içinde kendisiyle girişiyor. Yollardan ikisi de açıksa, foton Resim-6 B'deki elektron gibi iki yoldan birden gidiyormuşçasına davranıyor ve A varlayıcısına ulaşıyor. Yollardan bir tanesi kapalıysa foton tek yarıktan geçen bir elektron gibi iki yoldan sadece birisinden gidiyormuşçasına davranıyor ve eş olasılıkla iki varlayıcıdan birine ulaşıyor.

Bu düzenekte klasik düzenekte olası olmayan bir fırsat bulunuyor: Foton yarı saydam ayna ile etkileştikten sonra yollardan bir tanesi kapatılabilir. Bir başka deyişle, gözlem dalga-parçacık davranışlarından hangisinin gösterileceğinin seçilmesinin ardından yapılabilir..

Foton yarı saydam ayna ile etkileştikten sonra yollardan birisi kapatılırsa hep (Resim-6 A'daki) hangi yarıktan geçtiği gözlenen elektronda olduğu gibi parçacık davranışı elde ediliyor. Eğer foton gelecekte ölçüm yapıp, yapılmayacağını biliyor ve seçim buna göre gerçekleşmiyorsa, gözlem bu düzenekte gözlenenin sadece şimdisini değil, geçmişini de etkiliyor gibi oluyor! Tabii durum vektörü olasılık hesabı yapmaya yarayan matematiksel bir araç olmaktan öte, fiziksel gerçekliğin kendisi olarak da kabul edilmiyorsa!

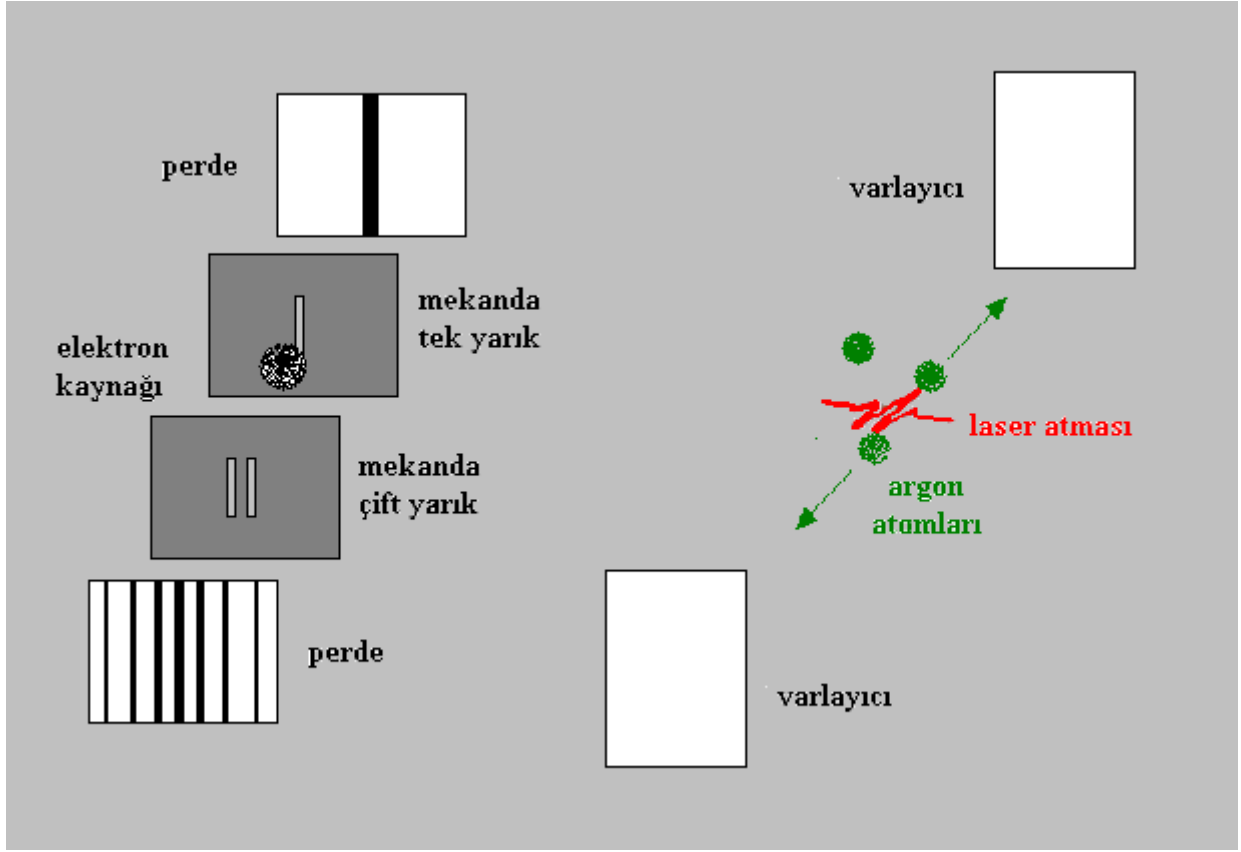
Ölçümün ölçülen üzerindeki etkisinin sadece durum vektörüyle açıklanabilmesinden başka durum vektörün parçacık-dalga birlemesiyle elde edilen fiziksel gerçekliği temsil ettiği varsayımını destekleyici bir bulgu var mı? Sanırım NH_3 molekülü üzerinden örneklenebilen tünelleme olgusuyla bu soruya cevap aranabilir..

Moleküldeki N (/azot) atomu saniyede 10^{10} sıklıkla 3 H (/hidrojen) atomundan oluşan üçgen bir düzlemin bir üstünde, bir altında beliriyor. Elektromanyetik kanunları N atomunun üçgen düzlem içinde ve yakın çevresinde bir anlık bile bulunmasının mümkün olmadığını gösteriyor. Molekülün bütün olarak bir dönme hareketi yapması da olası değil ^[14]. Kısacası N atomu uzayda bir noktada kaybolup, bir anda ayırık bir başka noktada ortaya çıkıyor gibi görünüyor.

Tünelleme olgusu da çift yarık düzeneklerindeki girişim deseni varlığı/yokluğu gibi dalga fonksiyonu kavramıyla açıklanabiliyor. N atomunun dalga fonksiyonu yazılıp, mutlak değer karesi alındığında üçgen düzlemde bulunma olasılığı sıfır, üstte ve altta bulunma olasılıkları ise pozitif bir değer olarak bulunuyor. N atomunun dalga fonksiyonu üçgen düzlemin bir üstünde, bir altında temel bir duruma çöküyor ve ardışık çökmeler arasında uzaya yayılıyor gibi. Zira ölçümlerle temel bir duruma çöken dalga fonksiyonu kuantum mekaniksel evrim denklemlerine göre bir başka ölçüme kadar zamanla uzayda yayılıyor.

Görünüşe göre mekan ve zaman kavramları Kuantum Mekaniği'ndeki madde-alan birlemesiyle ortaya çıkan fiziksel gerçeklik anlayışıyla beraber kendinden güncelleniyor. Durum vektörün fiziksel gerçeklik olarak kabul edilmediği durumda, aynı anda mekanda iki farklı noktada bulunabilmek ve geçmişi değiştirebilmek mümkün kabul edilmiş oluyor. Aksi durumdaysa fiziksel gerçeklik dalga fonksiyonunu kapsayan karmaşık bir uzaya ya da temel durum sayısına göre boyutu değişen bir karmaşık vektör uzayına yerleştirilmiş olunuyor.

Peki bu güncelleme Görelilik Kuramı'ndaki gibi bir mekan-zaman birlemesi içeriyor mu?



Resim-9: Zamanda Çift Yarıkları Deneyi

Zamanda Çift Yarıkları Deneyi böyle bir birleminin olabirirliği konusunda birkaç ipucu veriyor. Bu deney düzeneğinde Ar (/argon) atomlarından oluşan bir gazın üstüne ultra-kısa lazer atmaları gönderiliyor. Bu lazer atmalarının elektrik alan bileşeninde bir minimum (/çukur) ve iki maksimum (/tepe) nokta bulunuyor. (Resim-9) Atmanın çukuruyla iyonize olan bir atom, tepelerinden biriyle iyonize olanla ters yönde ivmeleniyor ve her iki yönde de birer varlayıcı bulunuyor.

Atmanın iki tepesi mekanda bir noktayı attosaniye (10^{-18} saniye) merbesinde bir farkla geçiyor. İki olası iyonizasyon arasında bu mertebede bir zaman farkı bulunması iyonizasyon olgusu için zamanda çift yarıkları oluşturuyor: Tepelerle iyonize olan atomların enerji-zaman grafikleri mekanda çift yarıktan geçen elektronların perdede bıraktığı girişim deseni iziyle örtüşüyor. Yani mekanda tek bir noktada bulunan bir atomun tek bir lazer atmasıyla iyonizasyonu iki farklı zamanda birden gerçekleşmiş gibi oluyor. Oysa çukurla iyonize olan atomların enerji-zaman grafikleri mekanda tek yarıktan geçen elektronların perdede bıraktığı ize benziyor. Atmayı iki çukur ve bir tepeli ayarladığımızda ise tam tersi geçerli..

Kuantum Mekaniği mekan ve zamanı teoride eş nitelikte şeyler olarak görmese de mekanda ya da zamanda ötelemeler benzer şekilde formüleştiriliyor. Kuantum mekaniksel deney düzenekleri de yukarıda anlatıldığı gibi uygun şartlarda mekandaki ya da zamandaki iki olası ayrık yol üzerinde dalga fonksiyonunun kendisiyle giriştiğini ve algıladığımız fiziksel gerçekliğin bu fonksiyonun evrimine göre değiştiğini söyleyebiliyor. Günlük yaşantıda mekansal ve zamansal farklılıklar uygun mertebelerde ^[15] olmadığı için mekanda veya zamanda bu tür girişim desenlerini pek

görülmüyor. Fakat atomların kararlı bir yapı oluşturabilmesinden renk ya da katılık gibi gündelik olgulara kadar birçok şey sadece dalga fonksiyonu ve onun evrimini inceleyen denklemlerce açıklanabiliyor!

I-3 Kuantum Alan Teorisinde Zamanın Mutlaklığının Yitişi

Özel Görelilik ve Kuantum Kuramlarının kısmen ilk kesiştirildiği yerlerden birisi olan Kuantum Alan Teorisi'nde mekan ve zaman eş nitelikte şeyler olarak kabul ediliyor. Teorinin ilk temsilcilerinden Dirac'a göre boşluk aslında boş olmuyor ve {parçacık, karşıt-parçacık^[16]} çiftlerinden oluşuyor. Boşluğa enerji verildiğinde böyle bir çift ortaya çıkabiliyor. Ya da bu çiftler bir araya geldiğinde birbirlerini yok edip, enerjiye dönüşebiliyorlar. Mekansal boşluğunun parçacıklarla dolu olduğunu söylemek aslında Genel Görelilik ve Kuantum Kuramları'ndaki farklı etkileşim tanımlarını kısmen de olsa birlemler nitelikte kılıyor.. Özel Görelilik Kuramı'ndaki madde-enerji birleşmesi çıkarımı da genişletilmiş oluyor.

Dirac tarafından <<negatif enerjili parçacıkların doldurduğu durumlar>> olarak yorumlanan karşıt-parçacıkları Feynman ve Stueckelberg <<zamanda bizim algıladığımız yönün tersinde hareket eden parçacıklar>> olarak yorumluyor. Zamanda bize ters yönde hareket eden bir elektron, gerçekten de bir elektronun karşıtı olan pozitron gibi görünebilir. Ya da karşıtı kendisiyle birebir eş görünen tek parçacığın Görelilik'te zamanda durgun olan foton olması bu bağlamda anlaşılanabilir. Peki bu yorumu destekleyen başka bir şeyler var mı?

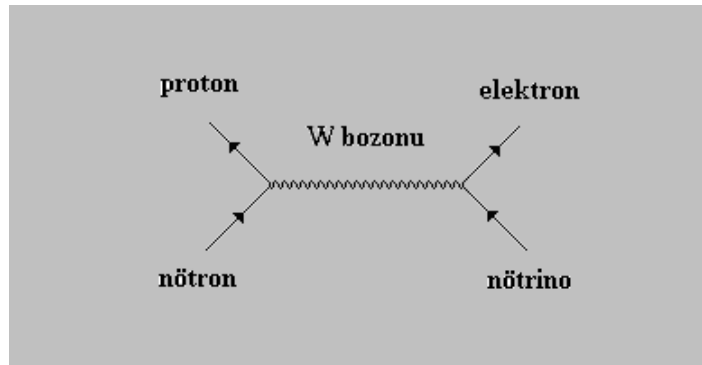
Bir nötron (n) aşağıdaki formüldeki gibi bir protona (p) dönüşebiliyor:

$$n \Rightarrow p + e^- + k-\nu_e$$

Ama bu şekilde gözlemlenen dönüşüm, bazı korunum yasalarına uymuyor. Oysa temel fizik yasaları yer yer birbirleriyle çelişse de hepsi aynı korunum yasalarına uyuyor. Karşıt nötrino ($k-\nu_e$) zamanda geriye giden bir nötrino (ν_e) olarak düşünülürse, dönüşüm

$$n + \nu_e \Rightarrow p + e^-$$

şeklinde formüleleştirilebiliyor ve bu formül korunum yasalarına uyuyor. Yani geçmişten gelen bir nötron ile gelecekte gelen bir nötrino mekan-zamanda bir noktada birleşip, bir elektron (e^-) ve bir proton oluşturuyor. (Resim-10)



Resim-10: Nötron-Proton Dönüşümünün Feynman Çizgesi

Elektron ve nötrinin aksine nötron ve proton birer temel parçacık değildir. Nötron bir u ve iki d kuarkından, proton ise iki u ve bir d kuarkından oluşuyor. Yani bir nötronun protona dönüşümünde d kuarklarından biri bir u kuarkıyla yer değiştiriyor.

Üçlüler halinde bulunan kuarkların arasındaki bağın kırılması için enerji harcandığında, bağ daha çok güçleniyor. Ancak harcanan enerji boşluktan yeni bir {parçacık, karşıt-parçacık} çifti yaratmaya yetiyorsa, bir kuark diğerlerinden ayrılıyor. Yaratılan kuark üçlüdeki ikiliyle bir araya geliyor. Karşıt-kuark ise üçlünden ayrılan kuarkla..

Buna göre, nötronun protona dönüşümünde bir {u, k-u} çifti yaratılıyor ve u kuarkı önceden nötronun yapısında bulunan ud ikilisine katılıp protonu oluşturuyor. Yalnız kalan d kuarkı ile de karşıt-u kuarkı birleşiyor ve W ara bozonu oluşturuyor. Bu bozonu soğuran bir karşıt-nötrino ise zamansal yolu üzerinde geri dönüp, bir elektrona dönüşüyor.

Görüldüğü gibi teoride atom-altı ölçekte zamanın yönünün mutlak oluşu tamamen ortadan kalkıyor. Fiziksel gerçeklik anlayışında birlenen kavramların sayısı yasaların her birleşiminde artıyor. Fakat tüm olguları açıklayabilen bir fizik kuramı henüz mevcut değil. Mevcut kuramların yer yer birbiriyle çelişmesi böyle bir kuramın yepyeni arayışlar sonunda ortaya çıkabileceğini ve belirli koşullarda bildik kuramlara indirgenebileceğini gösteriyor. Zaman kavramı böyle bir kuramda biraz daha garipleşebilir. Hazırlıklı olmakta fayda var.

Notlar:

0) Sabit bir hızda hareket eden bir gözlemcinin kendisini merkezinde durgun kabul ettiği koordinat sistemi, onun eylemsiz (/ivmesiz) referans sistemi olarak adlandırılıyor.

1) Minkowski Uzayı gerçel bir vektör uzayıdır. Bu uzayda boyu pozitif olan vektörler mekansal vektörler, boyu negatif olan vektörlerse zamansal vektörler olarak adlandırılıyor. Yani t eksenine yaptığı açı 45 dereceden küçük olan ve böylece koninin içinde kalan doğrular zamansal yol izlerine karşılık geliyor. Zamansal ve mekansal vektörleri ayıran ve koni yüzeyi oluşturan vektörler ise ışık hızındaki birinin hem zamansal, hem de mekansal yol izi oluyor.

Açık bir şekilde $r/c = 0$ doğrusu (mavi doğru) mekansal hızı sıfır olan bir gözlemcinin zamansal yol izini gösteriyor. 3 boyutlu Minkowski Uzayı'nda mekansal hızı sıfır olan gözlemci için vektör boyu s^2 başlangıç anından sonra hep negatif bir değerde oluyor:

$$s^2 = -t^2 + (x/c)^2 + (y/c)^2 = -t^2 + (r/c)^2 = -t^2 + ((0t/c))^2 = -t^2 + 0 = -t^2 < 0$$

Mekansal hız arttıkça $(r/c)^2$ terimi arttığı için yukarıdaki uzunluk sürekli artıyor. Minkowski Uzayı'nda mekansal hızı ışık hızı c olan bir gözlemci için olan vektör boyu ise sıfır bulunuyor:

$$s^2 = -t^2 + (x/c)^2 + (y/c)^2 = -t^2 + (r/c)^2 = -t^2 + ((ct/c))^2 = -t^2 + t^2 = 0$$

Mekansal hızın c'yi geçmesi ise uzunluğu pozitif yapıyor ve bu durumda zamansal yol izi tanımlanamıyor.

2) Bakışımı kıran şey yolculuk yapan kardeşin eylemsiz bir referans çerçevesinde bulunmaması oluyor. Eğer bakışım kırılmasaydı, yolculuk yapan kardeşin eylemsiz referans çerçevesinden dünyada onu bekleyen ikizi onun hızıyla hareket ediyor gibi görünürdü. Bu bakış açısından dünyadaki kardeşin daha az yaşlanmış olması gerekirdi. Sonuç olarak da bir paradoks oluşurdu.

3) Klasik Fizik'te madde parçacıklardan, alan ise dalga adı verilen salınımlardan oluşan iki ayrı fiziksek gerçeklik olarak görülüyor ve bu tanımlama atomların kararlı yapısını açıklamaya yetmiyor.

4) Maddeyi oluşturan temel parçacıklar dönütü (/spini) $\frac{1}{2}$ değerinin tam sayı katları olan (/fermiyonik) parçacıklardır.

5) Bozonik parçacık. Kuvvet taşıyıcı temel parçacıklar dönütü tam sayı olan (/bozonik) parçacıklardır.

6) Bir parçacığın kütlesi dalga boyuyla ters orantılıdır. Yarıklar arası merteye bu dalga boyuyla aynı mertebede olunca, çift yarıklı deneyinde dalga davranışı elde edilebiliyor.

7) Olasılık genliği karmaşık bir değerdir ve bu yüzden mutlak değer karesi alındığında gerçel bir değer elde edilir. Bu gerçel değer Kuantum Mekaniği'nde parçacığın o konumda bulunma olasılığının ne olduğunu gösteriyor. Varlayıcı bir etkileşim söz konusu olana kadar olasılık işlemleri olasılık genlikleri üzerinden yapılıyor ve etkileşimin ardından olasılık genliği olasılığa indirgeniyor.

Herhangi bir konumdaki değeri o konumun olasılık genliğine eşit olan fonksiyona ise dalga fonksiyonu deniliyor. Konum ve momentum durumları dalga fonksiyonu ile incelenebiliyor. Kavramın anlam uzayı başka nicelikleri de kapsayabilecek şekilde genişletilmek istenirse durum vektörü kavramı elde ediliyor. Temel durumların olasılık genliklerinden oluşan durum vektörü, temel durum sayısı ile eş-değer bir boyutu olan Hilbert Uzayı'nda yaşıyor.

8) Girişim dalgalara özgü bir olgudur. Dalga boyu eşit olan iki dalga tepeleri ve çukurları üst üste binecek şekilde birleşirse alan salınımının genliğini artırıyor ve bu olgu yapıcı girişim olarak adlanıyor. Benzer iki dalganın birinin tepelerinin diğerinin çukurlarına oturacak şekilde birleşmesi ise yıkıcı girişim ismini alıyor ve alan salınımı bu durumda sönüyor.

İki dalgayı giriştirdiğimizde yer yer yapıcı girişimler, yer yer yıkıcı girişimler oluyor. Sonuçta yıkıcı girişimlerin olduğu yerlerin boş olduğu bir girişim deseni elde ediliyor.

9) Parçacıkların içrek bir özelliği olan dönüt özdeş parçacıklarda eş büyüklükte bir değer alıyor. Bu değer asla değişmezken, dönütün yönü değişebiliyor. Şaşırtıcı ve gizemli özellikleriyle dönüt en kuantum mekaniksel nicelik olarak adlandırılıyor.

10) Z yönündeki dönütün pozitif doğrultuda olma olasılığı $= 0.5 = |\text{olasılık genliği}(z+)|^2$ ise olasılık genliği $(z+) = 2^{-1/2}$ olarak bulunuyor. Negatif doğrultu olma genliği için de aynı işlem tekrarlanabilir.

11) Bu birleşme aradaki faz farkına göre yapıcı ya da yıkıcı olabiliyor. Arada sıfırdan farklı bir faz farkının olması girişim sırasında birinci dalganın tepeleri ile ikincininkilerin üst üste gelememesi anlamına geliyor.

12) Işın prizmadan çıkarken tekrar iki parçaya ayrılıyor. Üçgen prizmanın iç yüzeyinden yansıyan ve geçen ışın arasında $\pi/2$ kadar bir faz farkı oluşuyor. Yansıyan ışın B varlayıcısıyla, geçen ışın A varlayıcısıyla varlanıyor. Eğer A ve B yolları arasındaki faz farkı zaten $\pi/2$ kadarsa, yansıyan ışın için toplam faz farkı π kadar oluyor, yıkıcı girişim gerçekleşiyor ve B varlayıcısına hiç ışın ulaşmıyor. Yansıyan ışın içinse faz farkı ortadan kalkıyor, yapıcı girişim gerçekleşiyor ve ışın A varlayıcısına ulaşıyor.

13) Prizma sistemine tek parça giren dalga fonksiyonu sistemden çıkarken ışının prizmanın iç yüzeyinde ikiye ayrılmasıyla ikiye ayrılıyor.

14) Bir atom elektron alması ya da vermesi durumunda iyon haline geliyor. Yüzeyle yeterince yakınındaki bir varlayıcı arasında bir elektronun bulunması atom iyonlaşmadığı sürece olası değil. Ama elektron bir yüzeyde, bir varlayıcıda olacak şekilde tünelleme yaptığı anda atomu iyonlaştırmadan elektronik yüzeyinin haritasını çıkarmak mümkün oluyor.

15) Kuantum mekaniksel davranışların ortaya çıkabilmesi için aslında gerek ve yeter tek şart alması (/alternatif) durum seçenekleri arasındaki enerji farklarının çok küçük olmasıdır.

16) Karşıt parçacıklar, kütleleri dışındaki tüm özellikleri parçacıkların zıttı olan parçacıklardır. Mesela bir karşıt elektron, yani pozitron, + yüklü bir elektron olarak düşünülebilir.