



# Kuantum Alan Teorisi Nedir?

*20.yy'ın başlarında fizik ciddi bir değişime uğradı. [Görelilik](#) ve Kuantum diye alışıl gelmişin çok dışında iki büyük alan ortaya çıktı ve bunların etkileri klasik fiziğe çok yabancıydı.*

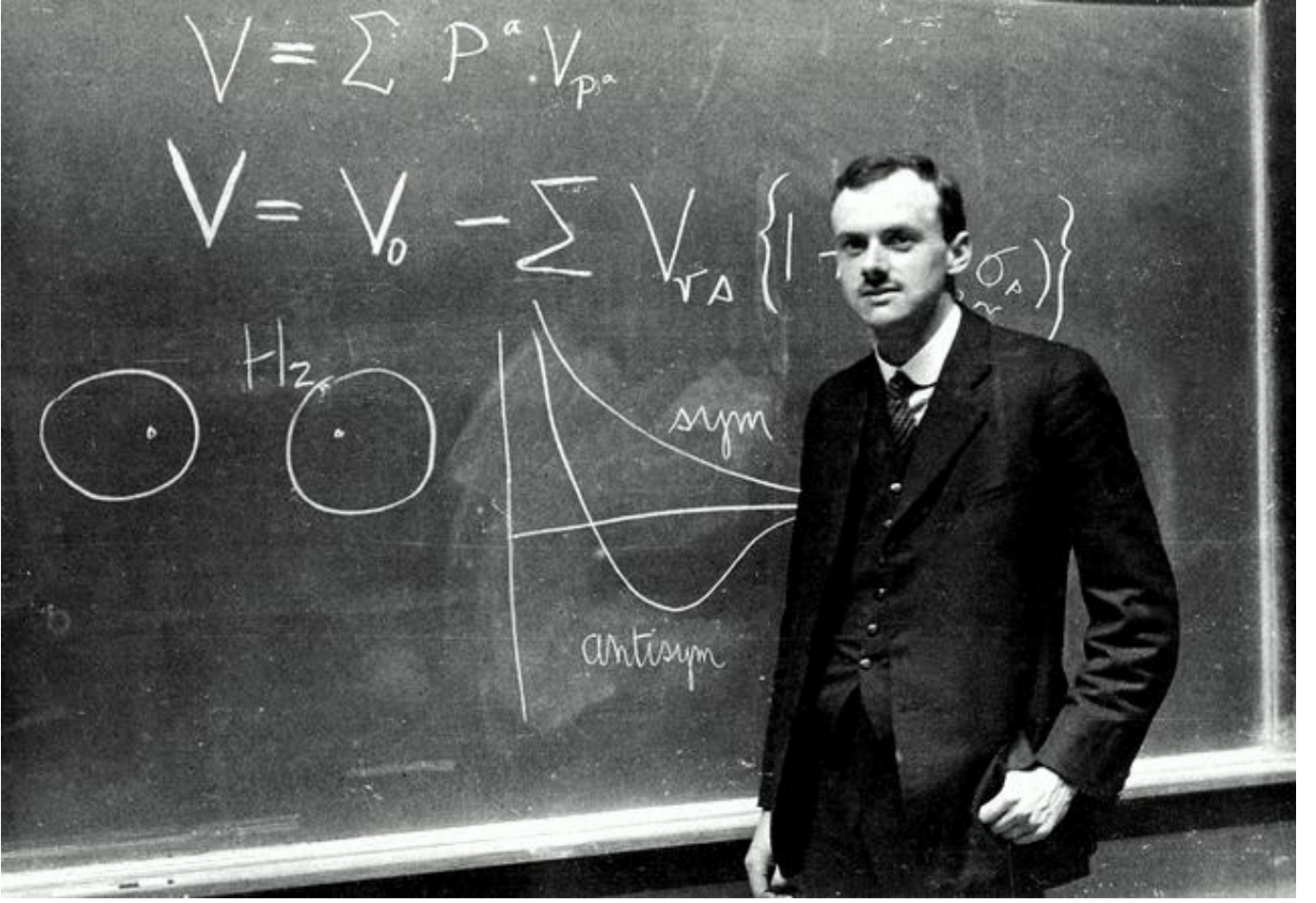
Parçacık-Dalga ikililiği'ni hatırlayın; foton'un ve elektron'un bazı durumlarda dalga özelliği göstermesi fakat bazı durumlarda da parçacık gibi hareket etmesi oldukça şaşırtıcı değil mi? Onu artık bir kenara bırakabilirsiniz. Aslında parçacıklar veya dalgalar yok; sadece bütün evreni kaplayan alanlar var. Parçacıklar da dalgalar da aslında aslında bu kuantum alanların belli noktalarda bize gösterdiği farklı yüzlerden ibaret.

Kuantum Alan Teorisi; fizikteki quarklar, fotonlar, elektronlar, bozonlar gibi temel parçacıkların tanımlanıp analiz edilebilmesi için oluşturulmuş, teorik fizikteki matematiksel bir çalışma alanı. Fizikçiler arasında da öğrenilip uzmanlaşmasının oldukça zor olmasıyla ünlü.

*Kuantum Alan Teorisi'ni yazının bazı yerlerinde QFT (Quantum Field Theory) olarak kısaltacağız.*

Bu alandaki çalışmalar fotonlar veya elektronlar gibi parçacıklar üzerinde

denenemiyor fakat bizim bu parçacıkların doğası ve birbirleriyle ilişkileri hakkında fikirler edinmemizi sağlıyor. Böylece somut fizik çalışmalarına da etkileri yansiyabiliyor.



Paul Dirac'ın 1927 yılında yazdığı "Radyasyonun emisyon ve absorpsiyonunun kuantum teorisi" adlı ünlü makalesi, Kuantum Alan Teorisi'nin başlangıcı olarak kabul edilir. Dirac bu makalede Kuantum Elektrodinamiği diye bir şeyden bahseder ki QFT'nin geliştirilen ilk kısmındandır. Fotonların elektromanyetik alanda nasıl kuantize olduğuna dair teorik bir açıklama yapar ve Dirac'ın bu prosedürü diğer alanların da kuantize olmalarıyla ilgili kullanılacak bir model halini alır. Ardından Pascual Jordan alanlar için üretici operatörleri ortaya atar ve 1929 yılında Heisenberg ve Pauli de QFT'nin ana yapısını oluştururlar. Bu metodlar kuantum mekaniğindeki elektron gibi temel parçacıklara ait denklemlere uygulanabilir bir haldedirler.

Peki nedir bu Kuantum Alan Teorisi?

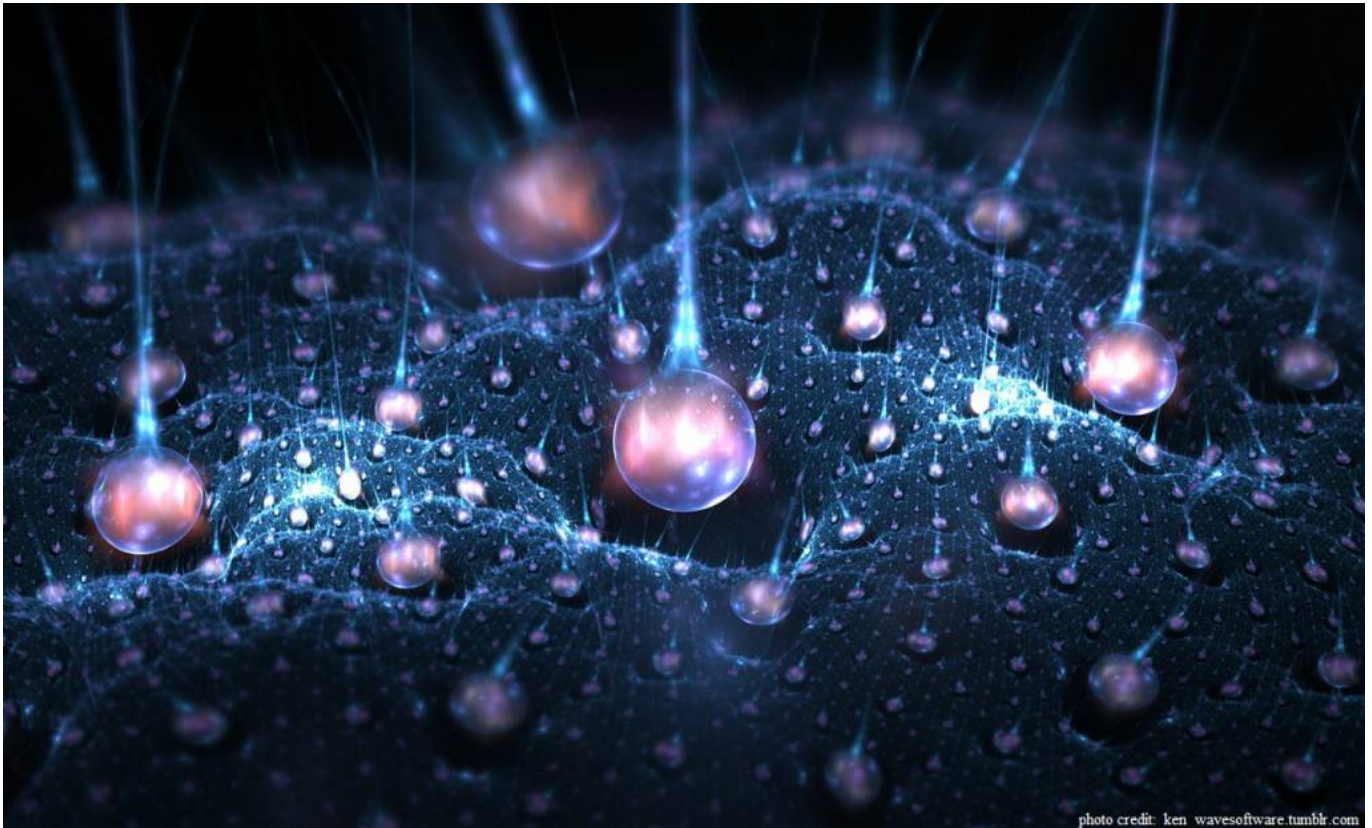
Kuantum mekaniğinin bütün postülalarına (*ilkelerine*) uyan, spesifik bir kuantum mekaniği teorisi. Esas avantajı temel bileşenler olarak parçacıklar yerine bu

parçacıkları ortaya çıkaran alanların olduğunu söylemesidir.

Her parçacık tipi için bir alan mevcut. Yani evrendeki bütün fotonlar için aslında tek bir alan (*foton alanı*) var, evrendeki bütün elektronlar için de yine hepsini kapsayan farklı bir alan (*elektron alanı*) var... ve bu alanlar her yerdeler. Parçacıklar sadece evrenin belirli noktalarında bulunurken, örneğin boşlukta bulunmazlarken, bu alanlar evrenin her bir noktasına yayılmış durumdadır.

Bu alanlar en düşük enerji seviyelerini temsil etmektedirler. Nasıl bir atomun yörüngesindeki elektronlar için belirli enerji seviyeleri varsa, en düşük enerji seviyesi 1.yörünge ise ve o elektrona enerji verdiğimizde daha üst yörüngelere çıkabiliyorsa, Kuantum Alan Teorisi'nde aslında en düşük enerji seviyeleri alanların kendisini, yani parçacığın olmadığı durumu, temsil etmekte.

Örneğin evrende seçtiğimiz bir noktada elektron yoksa, orası elektroniğin en düşük enerji seviyesi oluyor. Eğer elektron alanı o noktada yeterince enerjiye sahip olursa alan o noktada bir üst enerji seviyesine geçiş yapıyor ve biz buna parçacık (*bu örnekte, elektron*) diyoruz. Alanın içinde enerjiyi verdiğimiz nokta parçacık gibi görünüyor ve bu enerji alanının içinde gezdikçe, biz bu parçacığı hareket ediyor olarak görüyoruz. Yani parçacıklar, Alanların özel bir durumu.

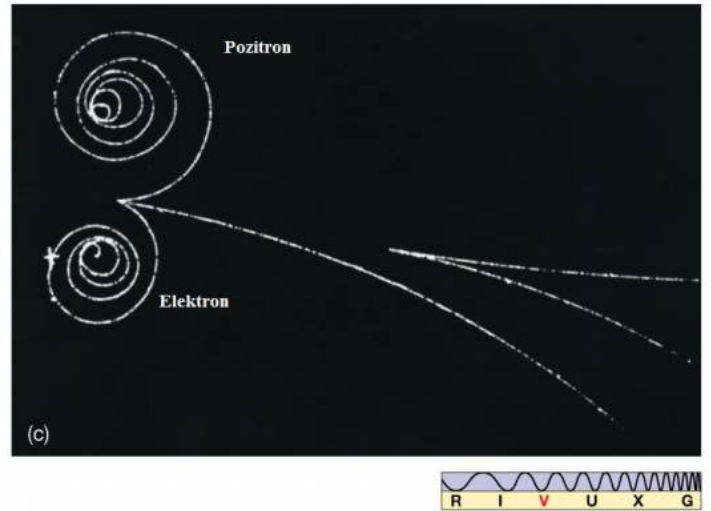
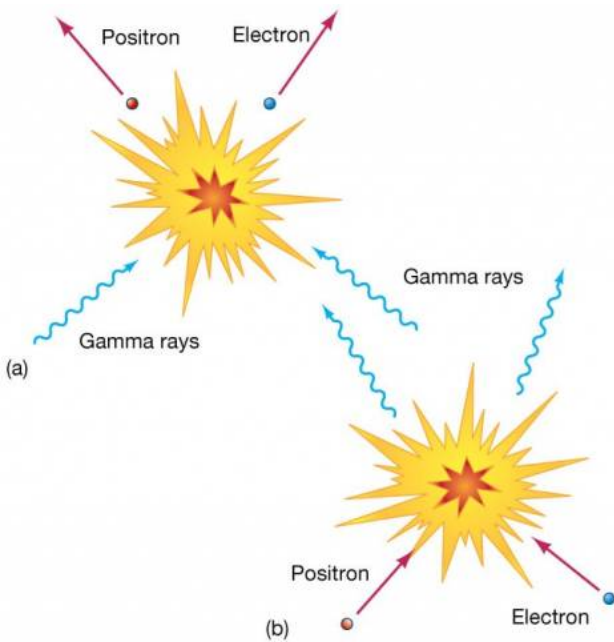


Bazı alanlar parçacık ortaya çıkarmak için diğerlerine göre daha fazla enerjiye ihtiyaç duyuyorlar. Parçacığın ortaya çıkması için gereken enerji miktarını biz o parçacığın kütlesiyle ilişkilendiriyoruz. Yani parçacık ne kadar kütleye sahipse, ortaya çıkması için gereken enerji o.

Higgs Bozonu'nu örnek verecek olursak; bu parçacığın kütlesi 125GeV (*Giga Elektronvolt*) gibi oldukça yüksek bir değerde. Dolayısıyla bu parçacığı ortaya çıkarmak elektron gibi 0.51MeV (*Mega Elektronvolt*) kütleye sahip bir parçacığı ortaya çıkarmaktan çok daha zor.

Elektron alanından ortaya elektron-pozitron parçacık çifti çıkarmak için elektron'un en az 2 katı enerjiye sahip olan yani 1.02MeV gibi yüksek enerjili bir fotonu bir atom çekirdeğinin yanından geçecek şekilde ona doğru doğrultmak gerekiyor. Bu foton atomun çekirdeğinin yanından geçerken onun etkisiyle birlikte elektron alanı ile etkileşime girip ortaya 0.51MeV kütleye sahip bir elektron ve bir pozitron çıkarıyor. Foton ise bu enerjisini kaybediyor. Bu sürece çift oluşum denilir ve enerjinin kütleye dönüşmesine bir örnektir.

Bu dönüşümü 1920'li yıllarda Dirac ortaya atmıştır ve içerisinde [antimadde](#) diye bir kavramın olması, [eter hipotezinin](#) çürütülmesinin devamındaki bu yıllarda bir çok fizikçiyi kızdırmayı başarmıştır. *Fakat 1932 yılında Carl Anderson bir antimadde olan pozitronun doğruluğunu kanıtlayan bir deney yapmış ve 1936'da bunun için Nobel Ödülü almıştır.*

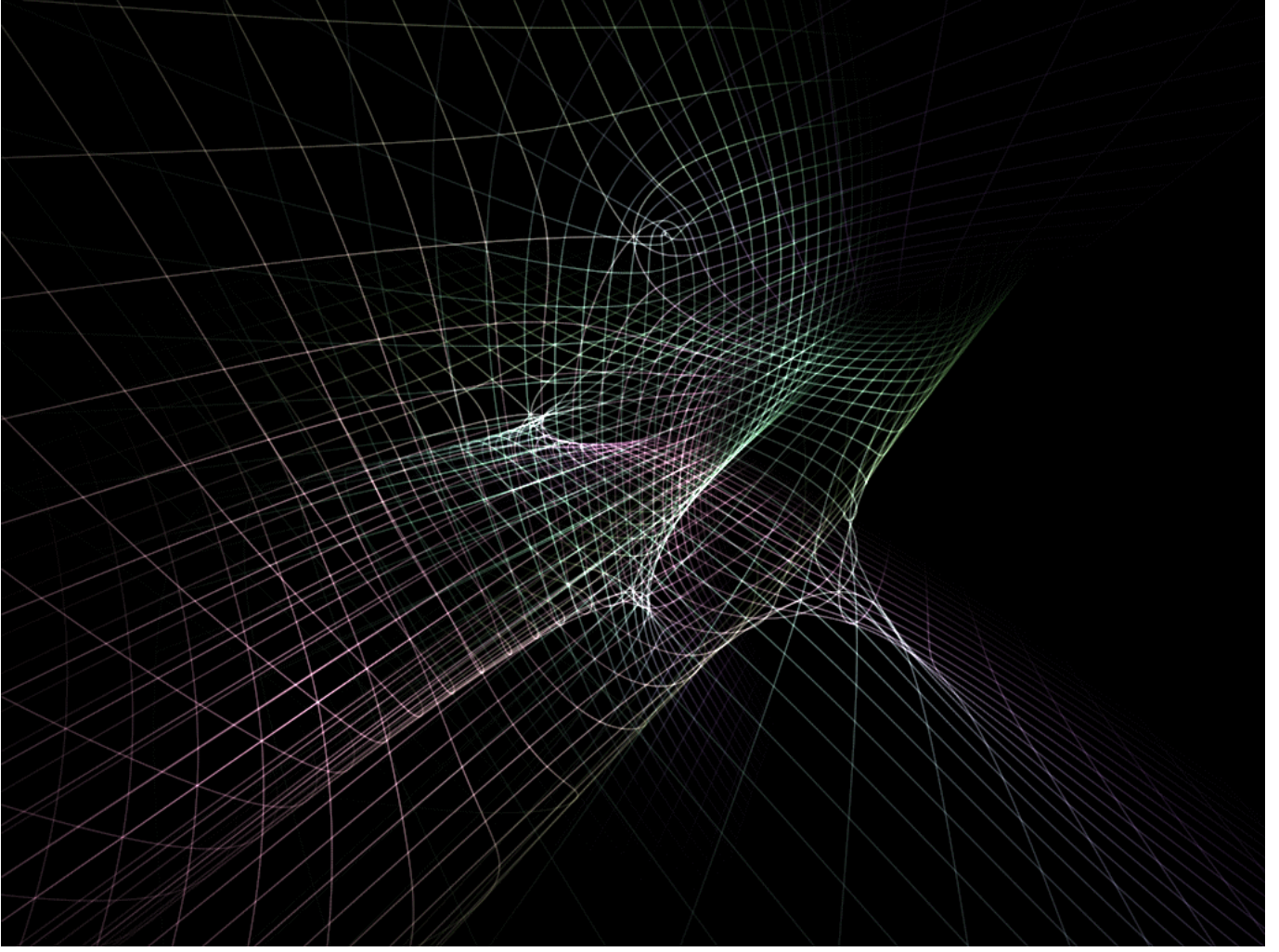


Görüldüğü üzere, elektron gibi çok ufak kütleyle sahip bir parçacığı, elektron alanına enerji vererek ortaya çıkarmak çok da zor değil. Fakat yine temel parçacıklardan olan Higgs Bozonu'nun kütlesi, karmaşık bir parçacık olan proton'un kütlesinden bile çok daha büyüktür. Higgs Bozonu 125GeV kütleyle sahipken proton 0.938GeV kütleyle sahiptir. Higgs, elektron'dan binlerce kat daha çok kütleyle sahiptir.

İşte bu nedenle Higgs Bozonu'nun bulunması bu kadar uzun sürdü. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı adında oldukça büyük bir parçacık hızlandırıcısı inşa edilmek zorunda kalındı ki yüksek enerjili parçacık çarpıştırmaları sırasında Higgs alanına gerekli enerji verilip Higgs Bozonu ortaya çıkarılabilsin.

Enerji kütle dönüşümü denilince akla gelen ilk şey tabii ki özel görelilikte karşımıza çıkan  $E=mc^2$  formülü olmakta. Kuantum Alan Teorisi, şimdilik kuantum fiziği ve özel göreliliği tutarlı bir şekilde birleştirebileceği düşünülen bir yol. QFT'nin ilkelerine baktığımızda onları kapsadığını görüyoruz.

Kuantum fiziği enerji ve momentum ayrı ayrı, uzay-zamandaki ufak değişimlerle dalgalanabilirler demekte. Özel görelilik ise enerjinin maddeye dönüşebildiğini söylemekte. Bu ikisini birleştirdiğimiz zaman, yeterince büyük dalgalanmalar, belirli bir eşiği aştıklarında ortaya kuantum parçacıkları çıkarabilirler, ayrıca bu işlemin tersi de mümkün, varolan kuantum parçacıkları yokolabilir sonucu çıkıyor ki bunlar QFT'ye paralellik gösteriyor.



1950'lerden itibaren QFT bir taslak olmaktan çıkıp teorik fizikteki üstünde durulan, güvenilen teorilerden biri oldu ve ilginç fizik problemlerinde kullanılmaya başlandı. Yeni parçacıklar ve yeni etkileşimler üzerinde denenmeye başlandı. Sadece elektromanyetik kuvvet ile değil zayıf kuvvet ve güçlü nükleer kuvveti de kapsayacak şekilde genişletildi ve bu sayede yeni parçacık sınıfları da bulundu. Fizikteki bütün parçacıkları ve kuvvetleri kapsayacak olan herşeyin teorisine doğru atılan adımlardan biri oldu.

Diğer 3 kuvvet ve bunlarla etkileşen parçacıklar arasındaki ilişkiyi ortaya koymak konusunda iyi olsa da, genel görelilik ve kuantum fiziğinin birleşmesi önündeki büyük problemimiz olan kütleçekim kuvveti, *veya başka bir tanımla uzay-zaman*, hala bilinmezliğini korumakta ve kuantum yerçekimi adı altındaki bu kuvvet de uzun yıllardır QFT'nin araştırma alanları arasında.

Kuantum yerçekimi altında uğraşılan alanların en önemlilerini ise standart kuantum yerçekimi, kuantum loop yerçekimi ve sicim teorisi oluşturmaktadır. Standart kuantum yerçekiminde izlenen yaklaşım kısaca QFT'nin ana yapısını

koruyarak buna yerçekimini de kuantize ederek katmaya çalışmak. Diğer ikisi yani kuantum loop yerçekimi ve sicim teorisi ise kuantum teorisini ve genel göreliliği QFT'ye ulaşmaya çalışarak birleştirmeye değil QFT'nin kendisini de değiştirecek biçimde birleştirmeye çalışmaktalar.

Taylan Kasar