

Higgs bulundu

Mevcut tüm bilgi birikimimiz, ki deneylerle doğrulanmış Standart Model adını verdiğimiz bir çok kavram ve olgudan oluşmaktadır. Bu düşünsel çerçeve bir takım kavramsal ve gözlemsel çelişkiler ve sorunlar da içermektedir. İşte asıl bu sorunlar ve çelişkiler LHC'den daha yeni neler beklememiz gerektiği konusunda bizlere yol gösterecektir.

1. Giriş

Evre nin işleyiş modelini inşa etmek için yaklaşık 100 yıl geçmiş. 1900'de Max Planck'ın ilk kuantum makalesi ile başlayan serüven 1930 ve 1940'larda parçacık hızlandırıcılarının geliştirilmesi ile ivme kazanmıştır. Zira kazanılan bu teknolojik yetkinlikle maddenin derinliklerine ulaşılması ve iç yapısının daha derinden anlaşılması mümkün olmuştur. Bu serüven, ulaşılan bu gözlemsel bilgilerin bir düzene sokulması için teorilerin aranması ve geliştirilmesi ve böylece oluşturulan teorilerin öngörülerinin yeni inşa edilen daha yüksek enerjili hızlandırıcılarda test edilmeleriyle günümüze kadar devam etmiştir.

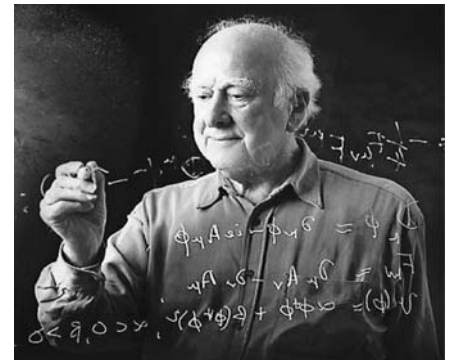
Bu çabaların nihai ürünü bu gün Standart Model (**SM**) olarak bilinen modeldir. Bu model Higgs parçacığı olarak bilinen bir parçacığın LHC hızlandırıcısında keşfiyle artık kanıtlanmış ve tam bir teori statüsü kazanmış gibi görünüyor. Aksi durumda yukarıda sözünü ettiğimiz 100 yıllık süreç bir anlamda yenden başlayacaktı. Bu bir kaç ay öncesine kadar hepimizin en kötü senaryo olarak düşündüğü durumdu. Ama kabul etmek gerekir ki, bir anlamda en heyecanlı olan da bu senaryoydu.

2. Standard Model ve Higgs mekanizması

Fizikçilerin çok eskilere uzanan düşü

bilinen kuvvetlerin tümünü içeren, yani tek bir matematiksel çatı altında birleştiren bir teori oluşturmaktır. Böyle bir birleştirme henüz gerçekleştirilmiş değil; ancak geçen 30-40 yılda bu doğrultuda çok önemli adımlar atılmıştır. İlk adım zayıf etkileşmelerle elektro-manyetizmanın tek bir model çerçevesinde birleştirilmesi olmuştur. Bu birleşme sistemlerin enerjileri arttıkça simetrilerinin de artmasından kaynaklanmaktadır. Hemen altını çizelim ki, matematiksel olarak aynı birleşik çerçevede tartışılıyor ve anlaşılıyor olmaları, farklılıklarının ortadan kalktığı anlamına gelmiyor kuşkusuz. Birleştirmeyi, etkin oldukları enerji bölgelerindeki farklılıklarını koruyarak, tek bir matematiksel çerçevede toplamak olarak anlamak gerekiyor.

Büyük birleştirme henüz gerçekleşmese de, heyecan verici olan bu kuvvetlerin tümünün aynı karakterde teoriler tarafından betimleniyor olması. Bu teoriler lokal simetrilerin Abelian olmayan



Peter Higgs

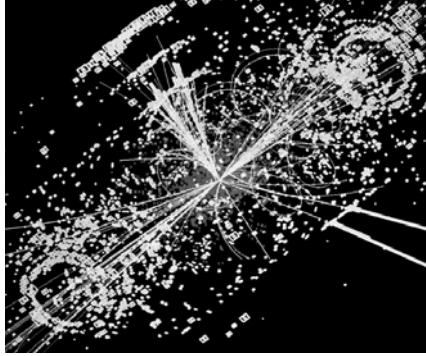
Fizikçilerin çok eskilere uzanan düşü bilinen kuvvetlerin tümünü içeren, yani tek bir matematiksel çatı altında birleştiren bir teori oluşturmaktır. Böyle bir birleştirme henüz gerçekleştirilmiş değil; ancak geçen 30-40 yılda bu doğrultuda çok önemli adımlar atılmıştır.

ayar teorileri olarak biliniyor. Bu konularda çok fazla teknik ayrıntıya girmek bu dergi formatında kuşkusuz mümkün değil. Ancak şu kadarını söylemek gerek: Bu teorilerin ortak özelliği, kuvvetlerin doğanın lokal simetrisiyle ilişkilendirilmesidir.

Ayar teorileri otomatik olarak kütle ve dolayısıyla sonsuz menzilli kuvvet taşıyıcı vektör ayar bozonları içerir. Peki bu taşıyıcı vektör bozonlara kütle kazandırır ne olur? Menzilleri sonlu olur. Bu kütle ne kadar büyükse menzil de o kadar kısa olacaktır. Temel sorun bu kütle nasıl yaratılacaktır.

Zayıf etkileşmeler de eğer elektromagnetizma gibi bir ayar teorisi ile temsil edilmek istenirse hemen bir sorunla karşılaşılır. Bu kuvvetler yalnızca çekirdek içi süreçlerle ilişkisi nedeni ile uzun menzillerde gözlemlenemiyor. Kuvvet taşıyıcılarının sayısının ne olduğu (ve dolayısıyla simetrisinin hangi Lie grubu ile temsil edileceği) başlangıçta bir sorun olarak ortada oluşu bir yana, zayıf kuvvet taşıyıcıların menzilin çekirdek boyutu içine kısıtlayacak tutarlı mekanizmanın ne olduğu da o evrede henüz bilinmiyordu. Kütleli vektör mezondan gösterildiği gibi, kütleli vektör mezondan teorileri renormalize değildi. Yani halka hesaplarında karşımıza çıkan sonsuzluklardan etkileşme sabitlerini yeniden tanımlayarak (renormalize ederek) kurtulmak mümkün değildi.

Higgs, Brout ve Englert adlı fizikçiler (hakkaniyet açısından bu listeye Kibble, Guralnik, Hagen ve belki de hepsinden önemlisi Goldstone'u da eklemek gerekir) tarafından 1964'te kütle problemini çözecek bir mekanizma buldular. Bu mekanizma çerçevesinde bazı kuvvet taşıyıcılarına kütle kazandırılırken, ayar simetrisinin elektromagnetizma ile ilişkili



Higgs'i gösteren bir simülasyon.

kısmı da kırılmadan korunabiliyordu. Bunun için teoriye yeni bir skalar alan eklediler. Ancak, bu alan vakumda tümüyle ortadan kaybolmamakta ve ardında bir kalıntı (çökelek, yoğunluğu) bırakmaktaydı.

Normal olarak vakumu içinde hiçbir şey bulunmayan boş bir uzay olarak düşünürüz. Kuantum teorisinde ise, daha kesin bir matematiksel ifadeyle "içinde tüm alanların mümkün en düşük enerji değerlerine sahip olduğu kuantum durumu" olarak tanımlanır. Alan teorisi çerçevesinde enerjinin minimum olduğu durum bu alanın uzayın her yerinde sıfır olduğu durumdur. Başka bir deyişle, bu alanın söndüğü, yok olduğu anlamına gelir. Gerçekten de bir elektron alanı ancak hiçbir elektron yokken minimum enerjiye sahiptir. Teoriye eklenen Higgs alanı bu bakımdan farklı özellikte ve bu anlamda da sıra dışı. Elektronun farklı olarak onu sıfıra indirgemek enerji ekonomisi bakımından avantajlı (minimuma ulaşıldığı için) değil; tam tersine bir enerji maliyetine sahip. Higgs alanının enerjisi, alan sıfırdan farklı büyük sabit bir değerdeyken en küçüktür. Bu yeni bakış açısı çerçevesinde vakum artık bir boşluk değil, Higgs alanının ürünü olan bir "yoğunluk" ile doldurulan bir mekan.

Şimdi de Higgs mekanizması ile zayıf kuvvet taşıyıcı alanlara nasıl kütle kazandırıldığına da kısaca değinelim. Higgs alanı skalar bir alandır; dolayısıyla bu alanın kuantumu sıfır spinli olmalıdır. Kuvvet taşıyıcı YM alanları ise tıpkı em alan gibi vektör alanlardır; dolayısıyla bu alanların kuantumlarının spini 1 olmalıdır. Normal olarak spini 1 olan bir parçacığın üç spin kuantum durumu vardır.

Ancak kuvvet taşıyıcı kuantumlar başlangıçta kütleli olduklarından ve dolayısıyla ışık hızıyla hareket ettiklerinden sadece iki spin kuantum durumuna sahiptir. Kütle kazandıklarında üçüncü kuantum durumu da ortaya çıkar.

Eldeki durumda zayıf kuvvet taşıyıcıları Higgs mekanizması ile kütle kazandırdığına göre bu üçüncü spin kuantum durumları nereden gelir sorusu çok önem kazanmaktadır. Bu durumlar Higgs alanından gelir; şöyle ki, her bir ayar kuantumu bir Higgs alanı ile birleşir ve kaynaşır ve kütle ile birlikte ekstra bir spin kuantum durumu kazanır. Bunun karşılığında bir Higgs alanı ortadan yok olur. Popüler anlatımla, kuvvet taşıyıcı parçacık Higgs parçacığını "yiyerek kilo kazanır". Temmuz 1971'de t' Hooft ve Veltman Higgs mekanizmasını içeren lokal ayar teorisinin renormalize olduğunu ispatladılar. Böylece elimizde hem kütleli kuvvet taşıyıcı vektör bozonlara sahip hem de matematiksel bakımdan tutarlı bir teori var. İşte beklenen dönüm noktası buydu; gerçek anlamında devrimsel bir gelişme.

Higgs'in yalnızca zayıf kuvvet taşıyıcıları etkilemesi ve onlara kütle kazandırması aslında matematiksel bakımdan pek de şaşırtıcı değil. Güçlü etkileşmeleri etkilememesi için Higgs baştan renk yükü taşımayacak şekilde seçiliyor. Elektrik yükü taşıması ise, elektromanyetizmanın simetri grubunun, başta elektro-zayıf kısım için seçilen Lie grup-

Her bir ayar kuantumu bir Higgs alanı ile birleşir ve kaynaşır ve kütle ile birlikte ekstra bir spin kuantum durumu kazanır. Bunun karşılığında bir Higgs alanı ortadan yok olur. Popüler anlatımla, kuvvet taşıyıcı parçacık Higgs parçacığını "yiyerek kilo kazanır".

Tüm parçacıkların kütleleri Higgs alanı tarafından yaratıldığı için Higgs parçacığının bu parçacıklarla etkileşme sabitlerinin kütleleri ile orantılı olması gerekir. Bu çok ayırt edici bir özelliktir ve Higgs parçacığının LHC hızlandırıcısında gözlemlenip tanınmasında belirleyici rol oynayacaktı.

larından biri olarak değil, fakat simetri kırılması mekanizması sonucunda kırılmadan kalan Abelian (diyagonal) alt grup olarak seçilmesiyle sağlanıyor. Bu şık kütle yaratma mekanizmasının ilk göze çarpan yan ürünü yeni bir kütleli scalar (spinsiz) parçacık: Meşhur Higgs parçacığı.

SM ilk ortaya atıldığında modelin en çarpıcı öngörüsü nötr Z vektör bozonuydu; kütlesi dışında her bakımdan fotonla özdeş olan bir tuhaf parçacık. Bu zayıf etkileşmeleri açıklamak amacıyla daha önce geliştirilen modellerde yer alan bir nesne de değil. Z'nin mevcudiyeti yeni bir tür zayıf akımın, nötr zayıf akımın, mevcudiyetini de gerektiriyor. Z vektör bozonunun (W ile birlikte) öngörülen özellikleriyle (81 ve 90 Giga elektron-voltluk kütle değerleriyle) 1983 yılında CERN'de gözlemlenmesiyle bu model bir anlamda kanıtlanmıştır.

Evrenin temel yapı ve işleyişini açıklamak amacıyla kurulmuş olan bu Standard Modelin 12'si temel madde parçacığı (6 lepton ve 6 kuark), 12'si kuvvet taşıyıcı parçacık (foton; 3 zayıf vektör parçacık-W+, W-, Z; 8 güçlü kuvvet taşıyıcı-gluon) ve 1 adet Higgs parçacığı olmak üzere 25 temel parçacık üzerine kurulduğunu görüyoruz. Ayrıca bu model 18 (veya 25) keyfi parametre içermektedir. Bunlar 3 tanesi bir araya getirilmiş, ancak kuşkusuz farklılıkları korunmuş olan, 3 tür etkileşmenin kuplaj sabitleri

(em için olan günlük dilde elektrik yükü olarak biliniyor), 2 tanesi Higgs mekanizması ile ilişkin olarak Higgs alanının vakum değeri ve Higgs kütlesi, diğer 9 (nötrinolar da eğer, çok küçük de olsa, kütle taşıyorlarsa 12) tanesi kuark ve leptonların kütleleri, geri kalan 4 (8) tanesi ise Kobayashi-Maskawa matrisinin elemanları. Çok teknik olduğu için bu matris hakkında ayrıntıya girmeyeceğiz; ancak bunun elemanlarının CP simetri kırılması ve baryon- antibaryon asimetrisi gibi doğanın ilginç olaylarını açıklamakta işlevleri olduğunu hatırlatalım. Felsefi boyutta baktığımızda bu 18 (25) keyfi parametre temel ilkelerden yola çıkarak kesinlikle belirlenemedikçe, yani değerlerinin istendiği gibi ayarlanabildiği anlamına gelen keyfilikten kurtarılmadıkça, parçası olduğumuz evrenin "neden olduğu gibi" olduğunu anlama noktasına ulaştığımızı söyleyemeyiz. Yani, eldeki teori tüm fiziksel süreçlerin nasıl işlediğini anlatıyor. Ama temel soru (felsefi) hala ortada duruyor. Evren niye olduğu gibi?

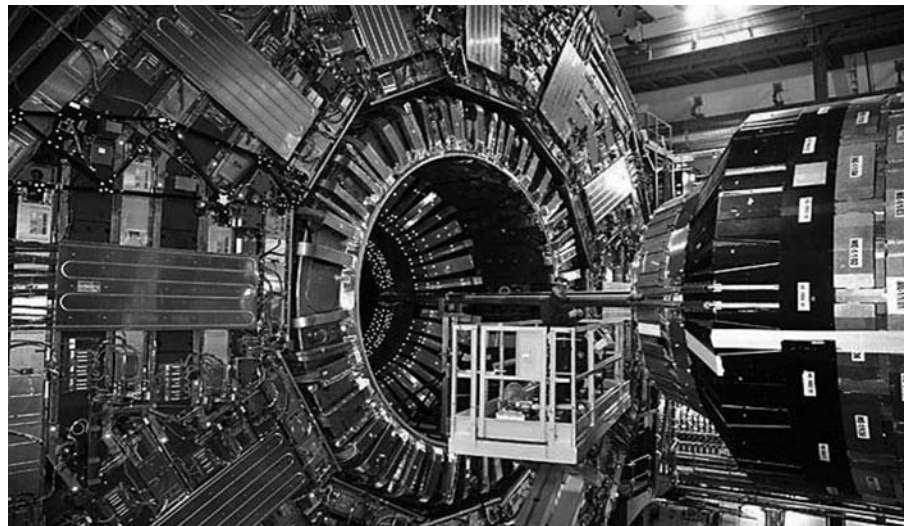
3. LHC ve Higgs parçacığı

Tekrarlarsak yukarda anlattığımız şık kütle yaratma mekanizmasının ilk göze çarpan yan ürünü Higgs parçacığı. Yıllardır yapılan çalışmalar sonucu kütlesi için belirli deneysel limitler de konulmuştu. Altını çizmeden geçmeyelim: Esas olarak "kütle yaratmak" için sisteme dahil edilen Higgs parçacığının kesinlikle

(teorik olarak) öngörülemeden tek özelliğinin kütlesi olması da kaderin garip bir cilvesi olmalı.

Higgs mekanizması o denli alışılmadık harika bir mekanizma ki, konunun uzmanı olmayanlar tarafından bunun bir matematiksel fantazi olduğu bile düşünülebilir. Ama durum hiç te öyle değil. Deney ve gözlemlerle doğrulanmaya açık pek çok özellikleri var bu vakum yaratığının. Bu sıfır spinli Higgs parçacığının bu çerçevedeki tüm parçacıklarla etkileşim model çerçevesinde teorik olarak kesinlikle öngörülebilir. Tüm parçacıkların (kuarklar, leptonlar, W ve Z bozonları) kütleleri Higgs alanı tarafından yaratıldığı için Higgs parçacığının bu parçacıklarla etkileşme sabitlerinin kütleleri ile orantılı olması gerekir. Bu çok ayırt edici bir özelliktir ve Higgs parçacığının LHC hızlandırıcısında gözlemlenip tanınmasında en belirleyici rolü oynaması bekleniyordu.

Standard Model'in öngörülleri uyarınca Higgs parçacığının ömür süresi de çok kısadır ve proton proton çarpışmasında oluşturulduktan hemen sonra pek çok kanal üzerinden çok hızla, yani çok çok kısa sürelerde, bozunacaktır. Dolayısıyla bu parçacığın keşfi, kendisinden çok bozunduğu parçacıkları gözlemlemeye yöneliktir. SM çerçevesinde yıllardır yapılan çalışmalar sonucu edinilen bilgiler en önemli kanalların 2 foton ve ZZ kanalları olduğunu göstermişti. Bu



CERN'ü gösteren bir fotoğraf

nun nedeni özellikle bu kanallar üzerinden yeni parçacığın kütlelerinin en büyük hassayitle ölçülmesi mümkün oluyordu. ZZ kanalında ise Higgs kütlesi, kendileri de çok kısa ömürlü olan Z vector bozonlarının herbirinin elektron veya müon çiftlerine bozunma süreçleri üzerinden tayin edilebiliyordu (gözlemlenmesi gereken nihai bozunma ürünleri 4 adet elektrik yüklü lepton: 2 elektron çifti; 2 müon çifti; ya da 1 çift electron ve 1 çift müon).

İnsanlık tarihinin en büyük projesi olan LHC esas olarak yaklaşık 30 yıldır tüm çabalara rağmen henüz bulunamamış olan bu **“tanrının cezası parçacığı”** bulmak için inşa edilmiş. Bu parçacığa atfedilen tanrı parçacığı sözcüğü eski dildeki anlatımla bir “galat”. Bu galat ne yazık ki tüm dünya medyasında o denli yaygın kullanılmaya başlandı ki artık rahatlıkla galat-ı meşhur kategorisine sokulabilir. Yenilerde bu yanlış adlandırmadan yola çıkarak bazı bilim-teolojifelsefe tartışmalarının da filizlendiği görülmekte; bunların kastı aşan noktalara çekilmemesini diliyorum.

Yani yaklaşık bir buçuk yıldır işletimde olan bu hızlandırıcıda en büyük öncelikle ve büyük umutla aranan nesne Higgs parçacığı idi. Higgs öngörülen özelliklerle gözlemlenirse, SM bir anlamda tümüyle kanıtlanmış ve tamamlanmış ve oturmuş bir teori statüsü kazanacaktı.

İlk Deneysel İşaretler: ATLAS ve CMS deneylerinden 13 Aralık 2011 tarihinde yapılan açıklamalar ile Standart Model Higgs parçacığının araştırılmasında geldikleri son durum dünyaya duyurulmuştu. Her iki deney tarafından elde edilen bulgular olası Higgs parçacığının kütlelerinin 124-126 GeV aralığında bir yerlerde olabileceğine işaret etmekteydi. Ancak o tarih itibariyle toplanan veri miktarı henüz Higgs sinyalini bilinen fon süreçlerinden ayırt etmek için yeterli değildi; dolayısı ile bu sonucun bir keşif olduğunu söylemek için çok daha fazla veri ve güçlü bulgular gerekmekteydi. Bu bulgular veri artışıyla birlikte istatistik hata sınırları içinde ya kaybolabilir veya daha da belirginleşebilirdi. 2012’de top-



4 Temmuz 2012 Çarşamba günü CERN’in iki büyük araştırma grubu ATLAS ve CMS, Higgs veya ona çok benzeyen bir parçacığın bulunduğunu açıkladılar.

lanacak olan yeni veriler, istatistiksel belirsizlikleri azaltıp SM Higgs parçacığının bu kütle bölgesinde olup olmadığını bize daha kesin olarak gösterecekti.

Sonunda beklenen oldu ve yüksek enerji fiziği dünyası derin bir nefes aldı. 4 Temmuz 2012 Çarşamba günü CERN’in iki büyük araştırma grubu ATLAS ve CMS, Higgs veya ona çok benzeyen bir parçacığın bulunduğunu açıkladılar. Bu açıklama bir anlamda 13 Aralık 2011 açıklamasında yarım bırakılan (zorunlu olarak) bir işin tamamlanması mahiyetinde bir açıklama. O ilk açıklamada vaad edildiği gibi 2012 yılında toplanacak yeni verilerle ya ilk sinyal ortadan kalkacaktı, ya da daha yüksek bir güvenilirlik düzeyi ile bir keşif niteliği kazanacaktı.

Yeni açıklama bu vaadin tutulduğunu ve iki hafta öncesine kadar 2012 yılında

Standart Model’in betimleyebildiği görünür (gözlemleyebildiğimiz) maddenin evrenin toplam kütle içindeki payının ancak % 4 olduğu göz önüne alındığında, bu olası egzotik partnerler çok büyük önem ve keşfini dört gözle bekleyeceğimiz nesnelere statüsü kazanıyor.

toplanan yeni verilerle mutlu sona ulaşıldığı anlaşılıyor. 2011 verileri 7 TeV kütle merkezi çarpışma enerjisinde (ve 5.1 fb^{-1} lüminosite değerinde), 2012 verileri ise 8 TeV kütle merkezi çarpışma enerjisinde (ve 5.3 fb^{-1} lüminosite değerinde) toplanmıştır.

2 foton kanalında Higgs’in kütlesi nihai bozunma ürünleri olan yüksek enerjili fotonların enerjileri ve saçılma açıları Kristal elektromagnetik kalorimetre’de (ECAL) ölçülerek tayin edilmiştir (Şekil2). ZZ kanalında ise herbir Z bozununun da hızla bozunması ile oluşan ve bu sürecin nihai ürünler olan 2 lepton çiftinin ECAL ve müon detektörlerinde ölçülmesi ile tayin edilmiştir (Şekil3).

Yüksek Enerji Fiziğinde bu amaçla geliştirilmiş olan kriter çerçevesinde her iki grubun yeni açıklamalarına esas olan güvenilirlik ölçütü 5-sigma; bu da bir keşif anlamına geliyor. Yani daha anlaşılır bir ifade ile, protondan 133 kez daha ağır 125 Giga elektron-volt kütleli bu yeni parçacık (aralık 2011’deki kütle değerinde bir değişme yok) % 95 üzerinde bir güvenilirlikle gözlemlenmiş durumdadır. Deney sürecinin devam ettirilerek, bulunan bu yeni parçacığın çeşitli kanallara bozunma özelliklerinin ve sonunda spin ve paritesinin ölçülmesi hedefleniyor. Zira ancak bu özellikler belirlendikten sonra gözlenen parçacığın gerçekten Standart Modelin Higgs parçacığı olup olmadığı kesinlik kazanacak. 2012 yılı sonuna kadar toplanacak veri miktarının üç katı artması bekleniyor. Dolayısı ile 125 GeV kütleli bu yeni parçacığın tüm özelliklerinin kesinlikle belirleneceğine artık kesin gözle bakılıyor.

Teorik bakış açısında yaklaşık 50 yıldır göz önünde olan ve deneysel olarak nasıl gözlemlenebileceği de yaklaşık 30 yıldır bilinen bu gizemli parçacığın artık keşfedilmiş olması son derece önemli... Bu keşif gerçekleşmemiş olsaydı, yani 2012 yılında toplanan yeni verilerle Aralık 2011’de gözlenen ham sinyal ortadan kalksaydı tam bir felaket olurdu. Zira bu on binlerce bilim insanının yaklaşık 50 yıllık kolektif emeğinin ürünü olan Standart Model’in çöpe atılması ve her şeye

Higgs'i bulmak, kütlelerini ölçmek kuşkusuz çok önemlidir; ancak kavramsal açıdan yetersizdir. Çünkü önemli olan elektrozayıf kuvveti kuantum etkilerine karşı koruyan veya daha doğru bir deyimle Higgs'in ölçtüğümüz değerde kütleyle sahip olmasını sağlayan mekanizmayı keşfetmektir.

başka kulvarlarda sil- baştan yeni başlamak anlamına gelecekti.

Ancak bu keşif artık bilimin sonuna geldiği anlamına da gelmiyor kuşkusuz. 2012 yılında toplanması sürdürülecek yeni verilerle bu yeni parçacığın tüm özellikleri anlaşıldığında önümüzü daha iyi görebileceğiz. Standart Model düşük enerjilerde son derece başarılı; ancak çok daha yüksek enerjilerde genişletilmesi gerekiyor. Bu bağlamda ortalıkta pek çok aday var. Bunların bazıları birden fazla Higgs parçacığı da içeriyor. 125 Gev kütleli yeni parçacığa ilaveten başka bu tür parçacık var mı?

Bu yıl içindeki yeni verilerle bu sorunun yanıtını da alabileceğiz çok büyük olasılıkla. Higgs'in egzotik nitelikli bazı benzerlerinin karanlık madde ve karanlık enerji problemlerini çözebilecek adaylar arasında sıralandığı hatırlandığında bu yeni keşifle önümüzde çok heyecanlı yeni bir dönem açıldığını rahatlıkla söyleyebiliriz. Standart Model'in betimleyebildiği görünür (gözlemleyebildiğimiz) maddenin evrenin toplam kütleli içindeki payının ancak % 4 olduğu göz önüne alındığında, bu olası egzotik partnerler çok büyük önem ve keşfini dört gözle bekleyeceğimiz nesnelere statüsü kazanıyor.

4. Oyun yeni (mi) başlıyor?

Kuramsal açıdan eksik parçaların bulunmasında temel kılavuz **elektroza-**

yıf kuvvetin kuantum etkileri altında kararlı davranamayıp kuramın geçerlilik sınırını büyüdükçe küçülüp gerçeklerle bağdaşmayacak şekilde zayıflamasıdır. Gerçekten de eğer eldeki yapı sicim kuramının skalasına kadar geçerliyse elektrozayıf kuvvet çekim kuvveti mertebesine kadar zayıflar. Hiç kuşkusuz bu kabul edilebilir bir durum değildir zira elektrozayıf kuvvetçe belirlenen nükleer reaksiyonlar sürekli oluşmaktadır (atom bombası vardır ve yapılmaya devam edilmektedir).

Dolayısıyla, ilk yapılması gereken elektrozayıf kuvvetteki bu kararsızlığın nasıl önleneceğini veya daha doğru bir deyimle Higgs'in ölçtüğümüz değerde kütleyle sahip olmasını sağlayan mekanizmayı keşfetmektir. Şimdi bu konuya biraz daha yakından bakalım. Standart Model, yani elektrozayıf kuvveti tarif eden kuramsal yapı bütün uzayı dolduran Higgs adı verilen bir dağılımı (alanı) öngörür. Bütün parçacıklar bu dağılımın çökeleği ile etkileşerek kütle kazanırlar. Bu dağılım ile çökeleği arasındaki fark Higgs parçacığı adını verdiğimiz elektrik yükü olmayan yeni bir parçacık olarak ortaya çıkar. Eğer bu model doğayı doğru olarak anlamamızı sağlayan modelse bu parçacığın modelde öngörülen özellikleri ile LHC'de karşımıza çıkması gerekirdi. Bu düş 4 Temmuz 2012 tarihi itibarıyla gerçekleşmiş durumdadır.

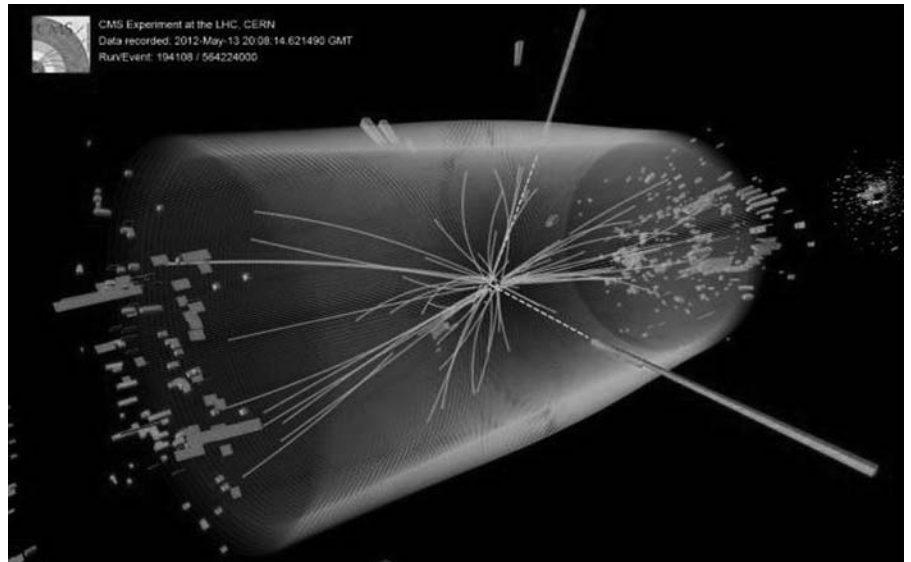
Eğer LHC'de Higgs parçacığı bulunmasaydı bu 'cehennem' senaryosu olurdu. Her şeyi yeni baştan düşünmemiz, eski hesapları tekrar karıştırmamız, eski defterleri tekrar açmamız gerekebilirdi. Neyse ki bu kabus artık geride kalmıştır.

Bu herşeyin sonu mu? Tabii ki değil. Hatta bir anlamda oyun yeni başlıyor bile diyebiliriz. Bir başka deyişle Higgs parçacığının bulunmuş olması bu parçacığı sarmalayan bilinmezleri anlama yolunda önemli bir adım, ama sadece bir ilk adımdır.

5. Higgs parçacığı neden ölçülen kütleyle sahip?

Yani Higgs'i bulmak, kütlelerini ölçmek kuşkusuz çok önemlidir; ancak kavramsal açıdan yetersizdir. Çünkü, yukarıda da açıklandığı gibi, önemli olan elektrozayıf kuvveti kuantum etkilerine karşı koruyan veya daha doğru bir deyimle Higgs'in ölçtüğümüz değerde kütleyle sahip olmasını sağlayan mekanizmayı keşfetmektir. Eğer kuantum etkilerini yumuşatan bir mekanizma yoksa Higgs'in ölçüldüğü değerde bir kütleyle sahip olması olanaksızdır.

Şimdi elektrozayıf kuvveti kuantum etkilerine karşı kararlı kılan mümkün mekanizmaları kısaca özetleyelim.

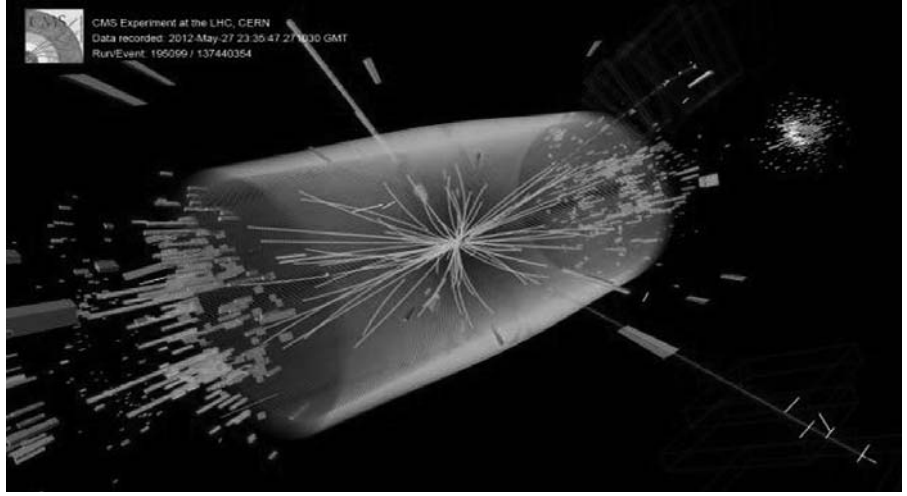


Higgs parçacığının 2 fotona bozunması (CMS detektörü; 8 TeV CMS enerjisi)

a. Bu mekanizmalardan biri süpersimetri. Süpersimetri, temelde, her parçacığın bir kardeşi olmasını öngörür. Öyle ki parçacık bir çember etrafında tam bir tur atınca işaret değiştiriyorsa kardeşi değiştirmez ya da tersi. Bu bağlamda mevcut her kuark için bir kardeş, elektron için bir kardeş, foton için bir kardeş, gluon için bir kardeş, ... şeklinde yeni bir parçacıklar silsilesi oluşur; kardeşler orijinallerle aynı kütleyle sahip fakat spinleri ? kadar farklı. Konumuz bağlamında Higgs bozonunun kütle sine kuantum etkilerinden gelen düzeltmeler hesaplanırken bozon ve fermiyon ikizlerini içeren halkalardan gelen düzeltmeler birbirlerini şık bir biçimde götürmekte, böylece SM parçacıklarının kütleleri, teorik hesaplamalarla bulunan çok büyük değerlerden doğada gözlenen makul değerlere çekmek için yapılacak "ince ayara" artık ihtiyaç kalmadan doğru bir biçimde bulunabilmektedir.

b. Standard çerçevenin dışına çıkan diğer bir yaklaşım **ek uzay boyutları**nın bulunmasıdır. Böylece elektrozayıf kuvvetin zayıflaması diğer bir deyimle Higgs çökeleğinin kabul edilebilir sınırların dışına taşması çok boyutlu uzayın Newton çekim sabitinin Higgs kütle sinein hemen üstünde bir değer alması ile de önlenbilir. Ek uzay boyutları sicim kuramından alışık olduğumuz bir kavramdır ancak sicim kuramının aksine burada söz konusu olan ek boyutlar oldukça büyük olup

Süpersimetri doğanın temel işleyiş yasası ise bu ikiz parçacıkların LHC'de direk gözlemlenmesini, kütlelerinin ve etkileşme sabitlerinin ölçülmesini bekleriz. SS'nin testi çok kolay görünmüyor. Zira bu teori çerçevesinde yeni parçacıkların kütleleri belirlenememektedir, sadece büyük oldukları söylenebilir.



Higgs parçacığının ZZ çifti aracılığı ile 2 yüklü lepton çiftine bozunması (CMS detektörü; 8 TeV CMS enerjisi)

bir kaç mm kadar uzun olabilirler. Böylece elektrozayıf kuvvet kararlı kılınabilir ve kabul edilebilir bir senaryo bulunmuş olur... Süpersimetriden sonra en çok çalışılmış LHC senaryosu ek uzay boyutlarıdır. En basit haliyle LHC'de belli çarpışma genliklerinin anormal değerler almasını, yüksek boyuttaki graviton (çekim kuvvetini ileten parçacık) ile etkileşmelerin kayıp enerji sinyaline sebep olmasını bekleriz.

c. Diğer bir yaklaşım ise **yeğın** kuvvet benzeri yeni bir etkileşmenin (ki **teknirenk** olarak adlandırılır) bulunduğunu ve bu ek kuvvet sayesinde Higgs parçacığının bildiğimiz hadronlar gibi bir takım alt parçacıklardan oluşan bir yapı olduğunu iddia etmektir. Böylesi bir sistem de elektrozayıf kuvveti kuantum etkilerinden korur. Higgs eğer böyle bir yapı veya onun yakın akrabası niteliğindeki **küçük Higgs** tipi bir model ise yine bir yeni parçacıklar silsilesi görmeyi bekleriz LHC'de. LHC için yapılan simülasyon çalışmalarında bu seçenek de çok tartışılmıştı.

Sonuç olarak, LHC'de Higgs parçacığı odaklı yukarıda sayılan dört seçenektен biri üzerine kurulu bir evren anlayışını doğrulanması beklenmekteydi. Bu konuda henüz son söz söylenmiştir diyebilir miyiz? Kuşkusuz hayır.

Öte yandan astrofizik/kozmojlojik gözlemler evrendeki toplam maddenin

yaklaşık % 26'sının Karanlık Madde olarak adlandırılan ışık saçmayan ve yeğın kuvvete duyarlı bir yapıdan oluştuğunu göstermektedir. Kara Madde için aday olan parçacık en azından evrenin yaşı civarında bir ömre sahip olmalıdır ve yukarıda sayılan seçeneklerden her biri, eğer gerçekçi olacaklarsa, böyle bir parçacığa sahip olmalıdırlar. Örneğin, süpersimetrik modeller böyle bir parçacığın varlığını otomatik olarak öngörürler.

6. Standart Model Yüksek Enerji Fiziğinde son söz mü?

Son olarak Higgs'in bulunması ve ondan önce alçak enerji bölgesindeki sayısız başarısı, **SM**'nin sorunları olmadığı anlamına gelmiyor. Bir kısmı oldukça felsefi tabiatlı olan bu sorunların, modelin/teorinin **genişletilerek** çözülebileceğini düşünenler çoğunlukta. Neler bu sorunlar, ayırım yapmadan tümünü bir arada sıralayalım:

a. Doğallık Problemi: Çok büyük kütlelerle çok küçük (bazıları da sıfır) kütleler neden ve nasıl bu çerçevede bir arada bulunabiliyor?

Ancak bu kütlelerin "büyüklüğü" ve bilinen diğer kütlelerin göreceli küçüklüğü (ışın başlarında esas olarak bir ve ikinci nesil lepton ve kuarkların bildiği ve bunların kütlelerinin en fazla 5-10 MeV olduğu hatırlanmalı) "doğallık" gibi oldukça temel tartışmalara yol açmadı

değil. Bu tartışma henüz tam anlamıyla bir çözümle sonuçlanmış değil ve yeni başka açıklamalarla hala günümüzde sürüp gidiyor.

b. Nesil Problemi: Neden yalnızca 3 nesil var? Kütle hariç 2. ve 3. nesiller 1. nesle bu kadar benzediği halde neden bu kendini tekrarlama 3. nesilde duruyor ve ötesine geçmiyor? Neden her bir nesildeki parçacıklar sahip oldukları kütlere sahipler? Nerdeyse kütsüz nötrinodan, altın atomundan daha ağır t-kuarka uzanan bir kütle spektrumunu anlamamızı sağlayacak temel prensip nedir?

c. Hiyerarşi Problemi: Neden farklı tür kuvvetler farklı enerji bölgelerinde etkinler? Acaba bunlar daha temel düzeydeki tek bir fenomenin (tek bir kuvvet/etkileşme türü ile betimlenen birleşik bir teori ve onun fiziksel süreçleri) farklı enerji bölgelerindeki farklı tezahürleri mi? Eğer durum gerçekten böyleyse, bu "birleştirme" nasıl yapılmalı? Bu doğrultudaki çabalar, SM'nin ortaya çıktığı andan beri sürüyor. Özellikle de 70'li yılların başında SM'nin hemen ardından "Asimptotik Özgürlük" kavramının ortaya çıkışıyla bu çabalar ivme kazanmış. Kısmi başarı kazanmış bazı teşebbüsler mevcut.

d. Doğanın bilinen diğer kuvveti olan Gravitasyon'un bu yapılanma içine nasıl yerleştirilebileceği henüz bilinmiyor.

7. Süpersimetri (Teknik Not-ilk okumada atlanabilir)

Süpersimetri herhangi bir spinli parçacığa süper ikizi olarak spini bundan ? kadar farklı bir başka parçacık karşılık getiren bir simetri dir. Bu çerçevede her bir fermiona bir bozon ve her bir bozona da bir fermion eşlik edecektir. Ancak SM'nin mevcut elemanter parçacık ailesindeki parçacıklar birbirlerinin süper-ikizi olmak için gerekli özelliklere sahip değildir. Dolayısı ile yeni parçacıkların postüle edilmeleri gerekmiştir. Örneğin elektronun selektron diye adlandırılan bozonik bir ikizi, W vektör bozonun da wino diye adlandırılan fermiyonik bir ikizi olacaktır. Böylece, bozonlar için postüle edilen fermiyonik süper-ikizler fotino, gluino, wino, zino gravitino olarak adlandırılırken, fermionlar için postüle edilen bozonik süper-ikizler selektron, smüon, snötrino, skuark vb olarak adlandırılmışlardır. Bu yeni parçacıklar da çok genişlemiş olan temel parçacıklar spektrumunda yerlerini almıştır. Böylece SM süper simetrik **SM'**ye genişletilmiştir. SS ayrıca bir sürü yeni ilave Higgs bozonunun mevcudiyetini de gerektirir. En minimalist çerçevede bunlardan 3 tanesi nötr ve 2 tanesi de elektrik yüklüdür.

Eğer süpersimetri doğanın temel işleyiş yasası ise bu ikiz parçacıkların LHC'de direk gözlemlenmesini, kütleleri-

Şu anda yaşadığımız evrendeki madde yapılanması bize SS'nin eğer varsa kırılmış olması gerektiğini söylüyor. Bu simetri kırılmasının, yüklü hafif bozonlar yerine yüklü hafif fermionlara yol açmış olması herhalde şükran duymamız gereken bir doğa olayı.

nin ve etkileşme sabitlerinin ölçülmesini bekleriz. SS'nin testi çok kolay görünmüyor. Zira bu teori çerçevesinde yeni parçacıkların kütleleri belirlenememektedir, sadece büyük oldukları söylenebilir. SM parçacıklarının süper ikizlerinin gözlenmeleri bağlamında 2000 yılında **TEVATRON'**un işlemeye başlaması ile gerçekleşmesi beklenen çarpışmasında bir skuark çifti yaratılabilir. Eğer skuark kütlesi örneğin 300 GeV ise doğru enerji koşullarında bu süreçten Tevatron da yılda 1000 tane gözlenmesi gerekirdi. Bu gerçekleşmediğine göre, SS bir simetri olarak mevcutsa, bunun kırılmış olması ve dolayısı ile SM parçacıklarının süper-ikizlerinin çok ağır olmaları gerekir. SS'in kanıtlanması yeni yüksek enerjili hızlandırıcılarının inşası için gösterilen temel gerekçelerden biridir.

Geçtiğimiz yıllarda LHC deneyleri için yapılan simülasyon çalışmalarında en çok irdelenen seçenek 'süpersimetri' yaklaşımıydı. Ancak Higgs'in keşfinden nerdeyse bir yıl kadar önce LHC'den gelen ilk sonuçlar ve ardından gelen diğer veriler alçak enerji skalasında basit süpersimetrik modelleri oyun dışına itmiş gibi görünmektedir.

SS TeV enerji skalasında mevcutsa bu çok önemli bazı SM problemlerini çözebilirdi. Bu çerçevede hemen çözülecek sorunların başında "doğallık" ve "hiyerarşi" problemi gelmektedir. Şöyle ki, geniş bozon ve fermion ailesinde kütle hesaplarında karşılaşılan çok büyük renormalizasyon düzeltmeleri birbirlerini



2000 yılında TEVATRON'un işlemeye başlaması ile gerçekleşmesi beklenen çarpışmasında bir skuark çifti yaratılabilir.

şık bir biçimde götürmekte, böylece SM parçacıklarının kütleleri, teorik hesaplamalarla bulunan çok büyük değerlerden doğada gözlenen makul değerlere çekmek için yapılacak "ince ayara" artık ihtiyaç kalmadan doğru bir biçimde bulunabilmektedir. SS'nin bir diğer katkısı em, zayıf ve kuvvetli etkileşimleri gerçek anlamda birleşik bir çerçeveye alma bağlamındadır. Zira, postüle edilen yeni parçacıkların tümü için içine katıldığında, üç kuvvet için alçak enerji bölgesinde ölçülen kuplaj sabitleri, renormalizasyon grup yöntemleri kullanılarak yüksek enerji bölgelerine ekstrapole edildiklerinde üçünün bir noktada birleştiğini görürüz. Bu, büyük birleştirme teorilerinin en temel öngörüsüdür.

Hemen SS'nin felsefi olarak çok önemli bir diğer özelliğine de dikkat çekelim. SS gerçekten varsa, doğada fermionların neden mevcut olduğu da açıklanmış olur; zira bu simetri fermionların mevcudiyetini gerekli kılar.

SS'nin gerçek bir fiziksel simetri olduğunu kabul edersek, çok ilginç bazı spekülasyonlar yapabiliriz. Örneğin, selektronların elektronlardan, skuarkların da kuarklardan daha hafif olduğu süper simetri üzerine kurulu bir evren düşünelim ve bunu yaşadığımız evrenle karşılaştıralım.

Bu spekülasyonu sürdürmeden önce, bir an duraklayıp çok iyi bildiğimiz kuantum teorisinin en ayırt edici özelliğinin ne olduğu konusunda bir an için düşünelim. Heisenberg'in belirsizlik ilkesi mi, yoksa Pauli'nin dışlama ilkesi mi? Tartıştığımız konu temel parçacıkların yapılanarak maddeyi, yani atom ve molekülleri oluşturması olduğu için, bu bağlamda Pauli ilkesi biraz daha öne çıkıyor. Şimdi bütün elektronların yerine bozonik karakterli selektronları koyduğumuzu düşünelim. Bu atomlar bildiğimiz atomlardan çok daha küçük olacaktır. Göreceğimiz bir çeşit mini BE yoğunluğu olacaktır. Zira selektronlar bozon olduğundan tümü aynı s-durumuna yerleşecektir. Bir başka tuhaf olay da moleküllerin ayrık- bağımsız yapılarını artık koruyamayacağıdır...

Demek ki, tüm elektron ve nükleonları bozonik süper ikizleri ile değiştirdiğimizde, tüm moleküllerin, artık bir itme kalmadığından, kaynaşarak tek bir yumru oluşturmaları söz konusu. Birleşerek ve kaynaşarak oluşan yeni yumrular, birleşme öncesi her bir yumrudan daha küçük olacaktır. Bu spekülasyon bile kesin (kırılmamış) SS matematiksel olarak nedenli cazipse de bu çerçevede mümkün olabilecek fiziksel evrenlerin pek cazip olmayabileceğini gösteriyor. Şu anda yaşadığımız evrendeki madde yapılıması bize SS'nin eğer varsa kırılmış olması gerektiğini söylüyor. Bu simetri kırılmasının, yüklü hafif bozonlar yerine yüklü hafif fermionlara yol açmış olması herhalde şükran duymamız gereken bir doğa olayı.

8. Sonsöz

LHC ulaşabildiği enerji seviyesi, veri işleme için gereken bilgisayar ağının büyüklüğü, evrenin ilk anlarını yoklayabilme gücü ve gerektirdiği uzmanlık seviyesi bakımlarından uygarlık tarihinin en iddialı ve en büyük projesidir ve insanlığı yepyeni bilimsel buluşların eşliğine getirmiştir.

10 milyar dolar kadar bir maliyetle dünyanın pek çok ülkesinin düzenlerce kurumundan onbinlerce bilim insanının yaklaşık 25 yıldır milyonlarca saatlik çok üst düzey zihinsel emeği ile kurulmuş olan bu proje, bu yeni keşfi ile beklentilere ve tüm bu yatırımlara karşılığını vermiştir; yani günümüz halk diliyle "helal olsun" dedirtmiştir.

Nasıl tekerleği bulan ilk insan bunun büyük mesafelere erimi kolaylaştıracağını, nasıl 580 yıl önce en kapsamlı yıldız kataloglarından birini oluşturan Uluğ Bey bunun evreni anlamak için çok önemli bir adım olduğunu, nasıl 130 yıl önce indüksiyonu keşfeden Faraday bunun jeneratörleri doğuracağını, nasıl 110 yıl önce elektronu bulan Thompson bunun bir parçacıklar silsilesinin ilk üyesi olduğunu, nasıl 80 yıl önce belirsizlik ilkesini ortaya atan Heisenberg bunun nanoteknolojiye dek uzanan bir çok atomaltı olayın temel işleyiş yarasını oluş-

turacağını bilmiyordu iseler, bugünün fizikçileri de LHC'de yapacakları pek çok diğer bilimsel keşfin neler olacağını ve bunların yol açacakları teknolojik sonuçları henüz bilmemektedirler. Mevcut tüm bilgi birikimimiz, ki deneylerle doğrulanmış Standart Model adını verdiğimiz bir çok kavram ve olgudan oluşmaktadır. Bu düşünsel çerçeve bir takım kavramsal ve gözlemsel çelişkiler ve sorunlar da içermektedir. İşte asıl bu sorunlar ve çelişkiler LHC'den daha yeni neler beklememiz gerektiği konusunda bizlere yol gösterecektir.

Kaynakça

1. N. K. Pak, "Mikro Evrenin Standard Modeli ve Süpersimetri", Bilim ve Ütopya, Sayı 167, Mayıs 2008, p.22-31.
2. D. A. Demir, N. K. Pak, "Büyük Hadron Çarpıştırıcısı", Bilim ve Ütopya, Sayı 172, Ekim 2008, p.51-56.
3. N. K. Pak, "Kütle Kavramının Serüveni: Klasik Newton ve Einstein Teorilerinden Standart Kuantum Alan Modeline", Bilim ve Ütopya, Sayı 213, Mart 2012, p.15-23.
4. N. K. Pak, "Kuantum Kromo Dinamik:Yüksek Enerji Fiziğinde Umud Işığı", Çağdaş Fizik,v.3 (Kasım 1978), p.19-26.