

CERN’de ne bulundu? Ne bulunamadı?

Mahmut Hortaçsu
Bilim Akademisi D. ve



MİMAR SİNAN GÜZEL SANATLAR ÜNİVERSİTESİ

CERN’de ne bulundu, bulunan şey ne işe yarar? Son ayların bilim dünyasında güncel soruları bunlar. Bunu izleyen başka bir soru da henüz ne bulunamadı? Bir defa CERN’deki 27 km’lik çevresi olan, neredeyse evrenin ilk anını, büyük patlamadan birkaç mikro saniye sonrasını bizi gösteren bu makinede neyin bulunması bekleniyor? Bu sorununun akla ilk gelen cevabı, bugüne kadar fizikte geçerli olduğuna inanılan “Standard Modeli ” sınanmasıdır. Fizikçilerin büyük çoğunluğunun sevmedikleri bu modelin öngörülleri bugüne dek hep doğru çıktı. Acaba gerçekten doğayı bize doğru biçimde mi anlatıyor ?

Standard Modelin öngördüğü yeni parçacıklardan sadece bir tanesi henüz bulunamamıştı. O bulundu gibi.

Ama erişilen enerjilerde Standard Modelde öngörülmemeyen yeni olaylarla karşılaşabiliriz. Bir defa bugüne dek bildiğimizi sandıklarımızı tümünden değiştirecek yeni olaylar karşımıza çıkabilir. Kuramcıların çoğunun “iman” ettiği, deneycilerin pek umursamadığı sicim kuramının doğruluğuna dair, dolaylı da olsa, bilgilere ulaşabiliriz.

Karanlık maddeyi hangi parçacıkların oluşturduğuna dair deneysel veri bulabiliriz. Süpersimetrik parçacıkları görebiliriz. Ek uzay boyutları varsa, bunları hissedebiliriz. Örneğin bir graviton aniden kaybolup enerji dengesi bozulur. Bunu diğer boyutlara kaçan bir parçacık olabilir. Ek boyutu gösterecek, belki de daha kolay gözlemlenecek bir olay olan mikroskopik kara delikleri algılayabiliriz. Bunlar içinde yaşadığımızı sandığımız 3+1 boyutta, Cern'deki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ) enerjilerinde oluşamayacak, ancak uzay boyutu daha fazla ise olabilecek nesneler.

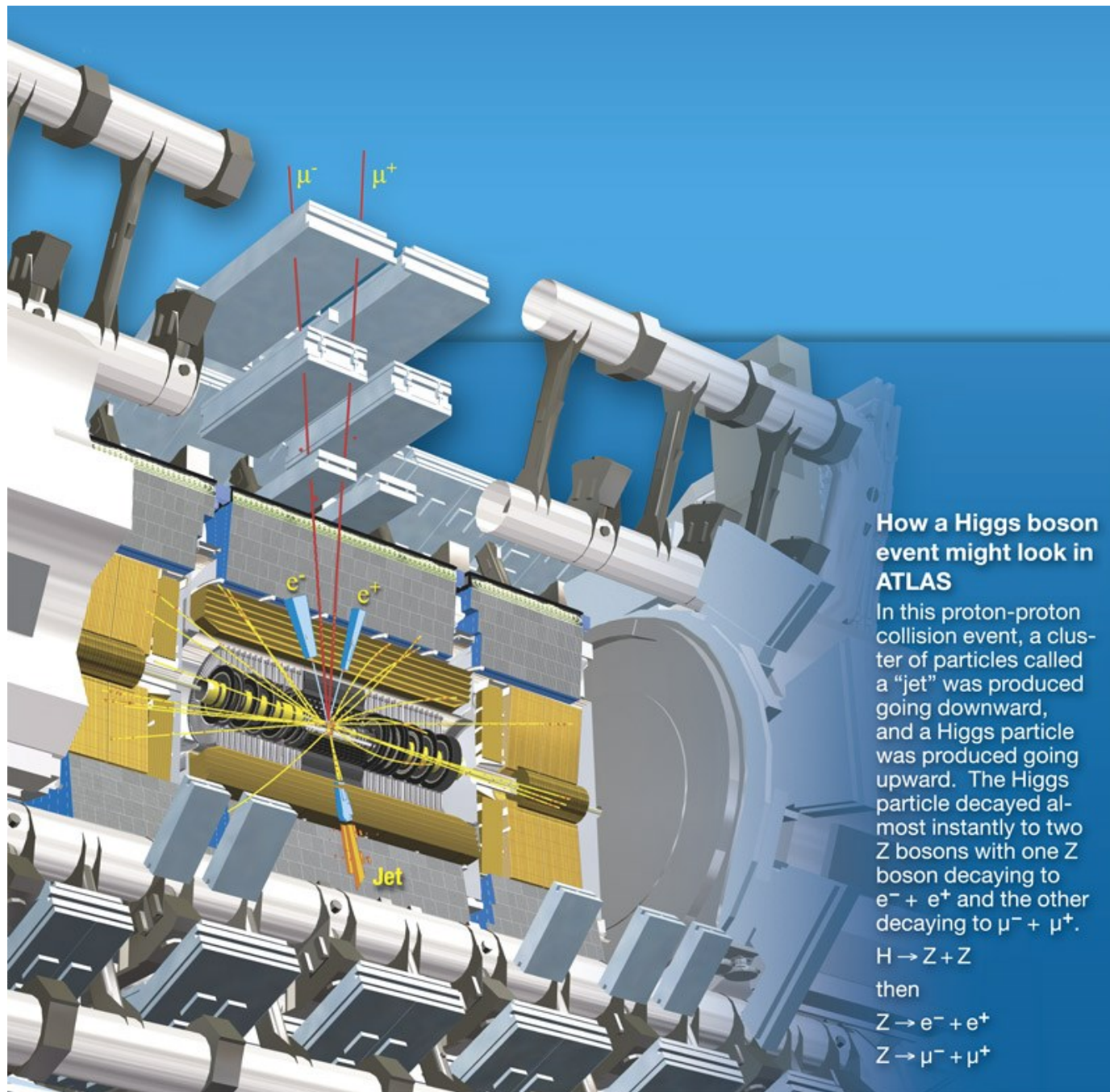
Başlangıçta her şey nötr olan enerjiden doğdu. Dolayısıyla madde ile antimaddenin eşit miktarda olması gerekiyor. Dünyamızda ve hiç olmazsa çevremizdeki evrende niçin sadece madde görüyoruz? Antimaddeye ne oldu?

Yeni kuvvetler var mı? Bildiğimiz dört kuvvetten elektro-manyetik olanını fotonlar, yeğin kuvveti gluonlar, zayıf kuvveti W ve Z bozonları, kütle çekimi gravitonlar taşıyor. Yeni kuvvetler varsa onların da taşıyıcıları olmalı. Bunlara W', Z' adı verilebilir.

Ayrıca ağır iyonları çarpıştırarak kuantum renk dinamiğinde düşük enerjilerde görülen kuark hapsinin nasıl ortadan kalktığını görüp , kuvvetli etkileşmeler üzerine bilgi edinebiliriz.

Kütlenin kaynağını anlayabiliriz. Standard modelde bunu Higgs parçacığı ile açıklıyoruz. İlk görüldüğünü sanılan bu olay ile başlayalım. Higgs parçacığı oluşursa hemen bozunacak ve makinede şu biçimde görülecek.

<http://www.atlas.ch/img/higgs-event.jpg>



How a Higgs boson event might look in ATLAS

In this proton-proton collision event, a cluster of particles called a “jet” was produced going downward, and a Higgs particle was produced going upward. The Higgs particle decayed almost instantly to two Z bosons with one Z boson decaying to $e^- + e^+$ and the other decaying to $\mu^- + \mu^+$.

$$H \rightarrow Z + Z$$

then

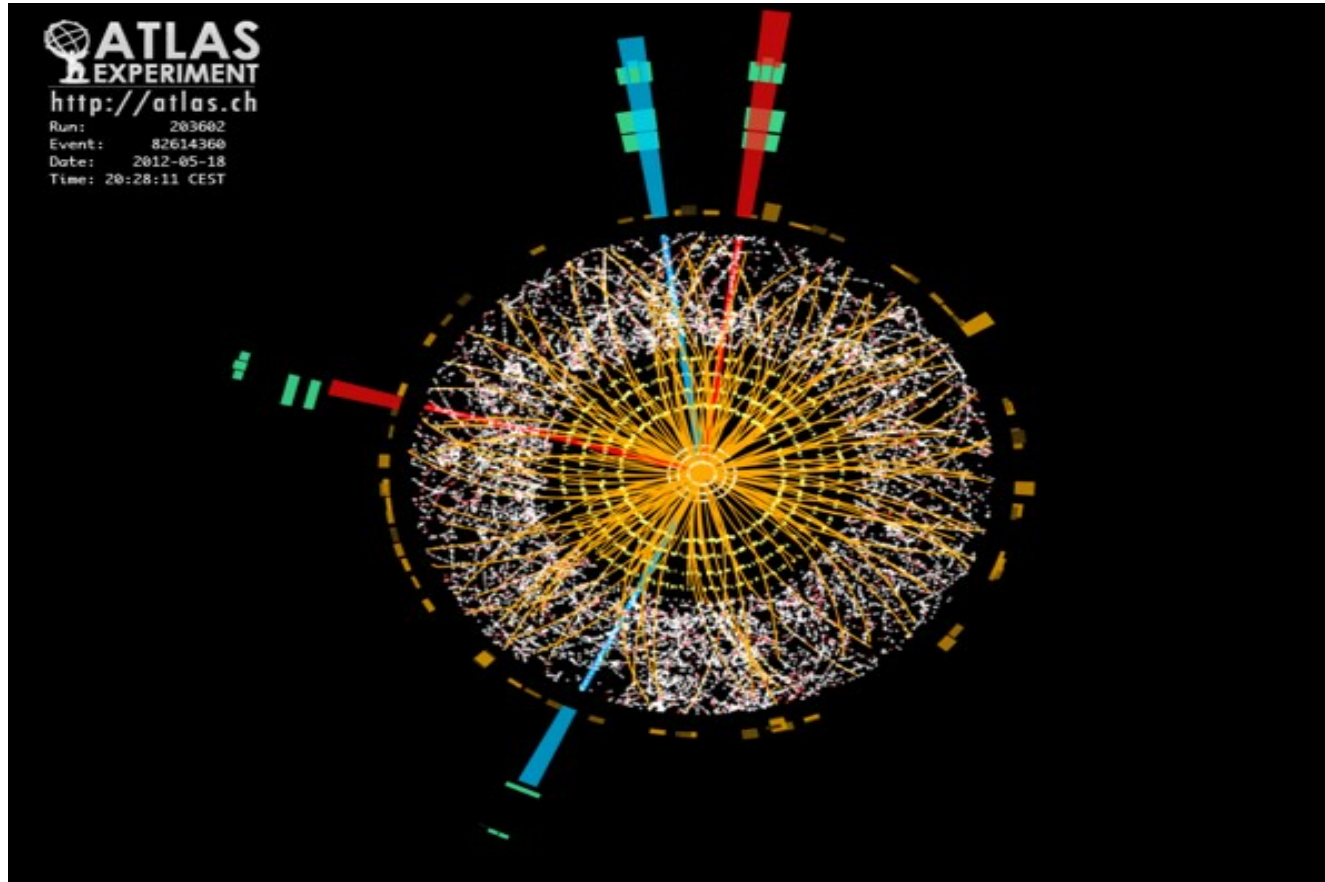
$$Z \rightarrow e^- + e^+$$

$$Z \rightarrow \mu^- + \mu^+$$

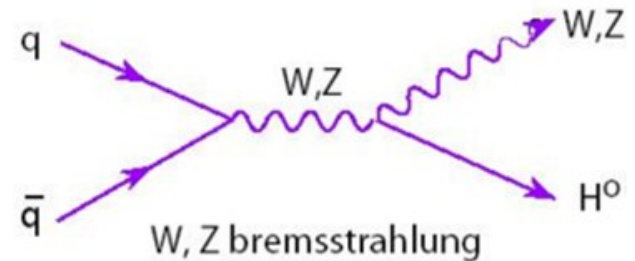
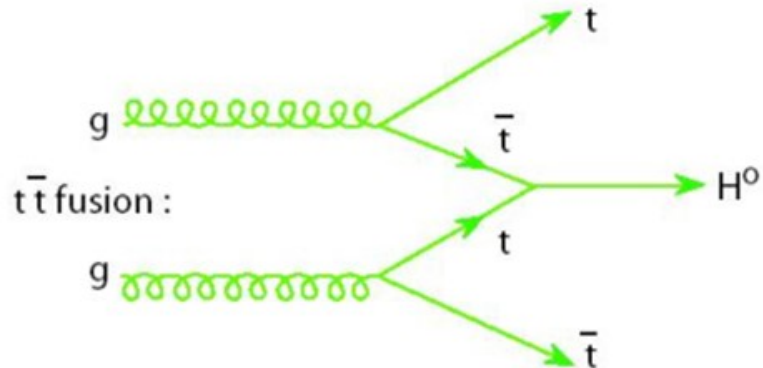
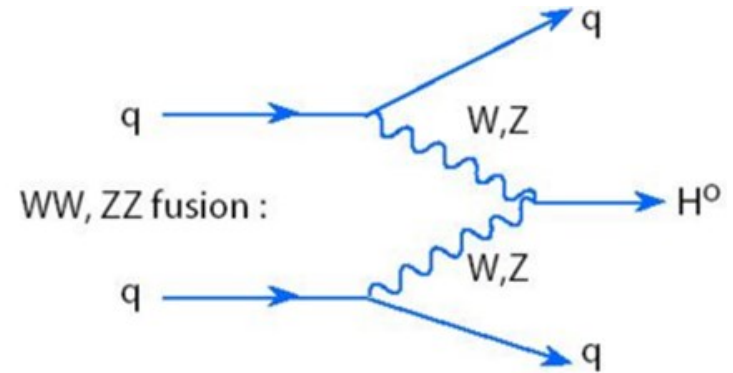
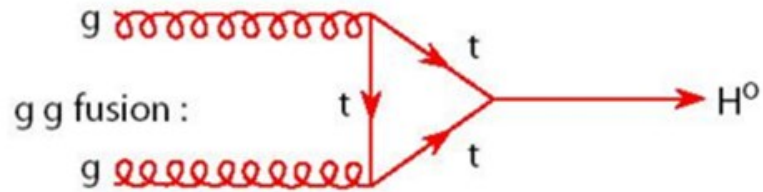
Burada jet aŖađıya Higgs parçacığı yukarıya gidiyor. Higgs hemen iki Z'ye, Z'lerin biri bir elektron pozitron çiftine, diğeri de farklı yüklü iki muona bozunuyor.

BaŖka bir resimde ise dört elektrona gidiŖ gsterilmiŖtir.

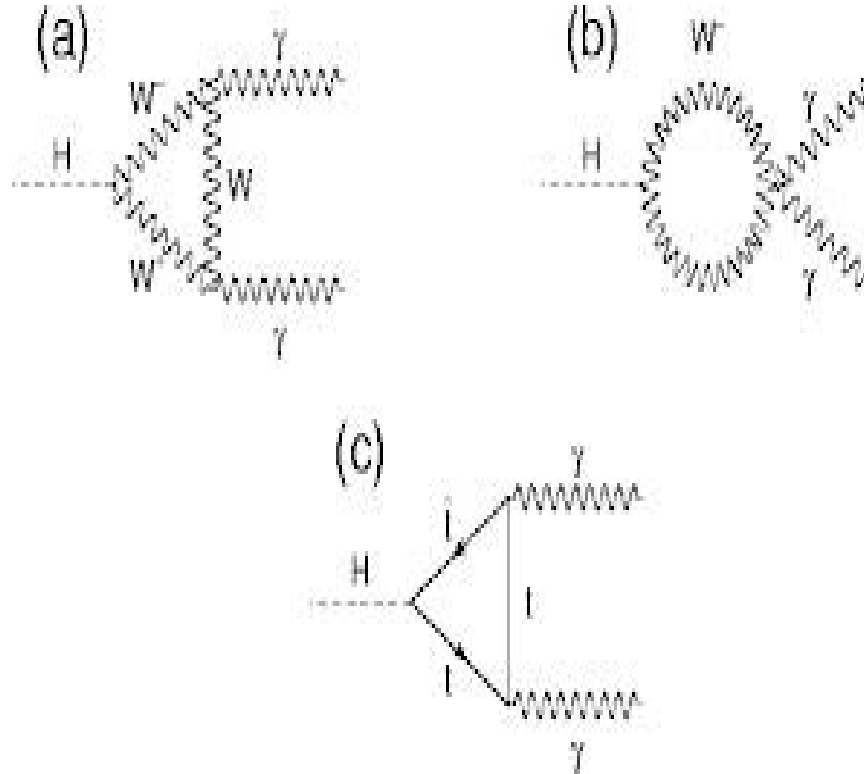
http://www.atlas.ch/photos/atlas_photos/selected-photos/events/run203602_evt82614360_VP1DetailID_2.png



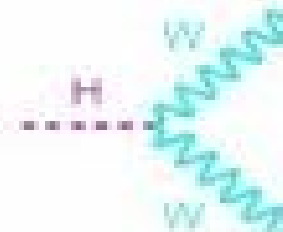
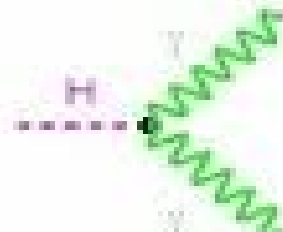
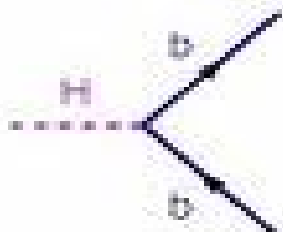
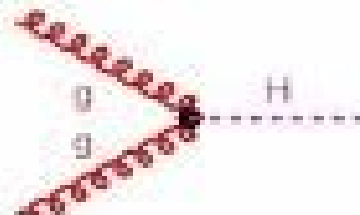
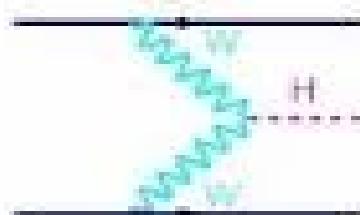
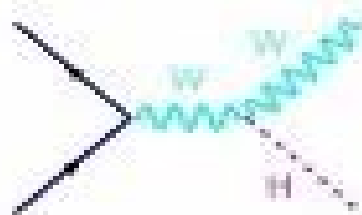
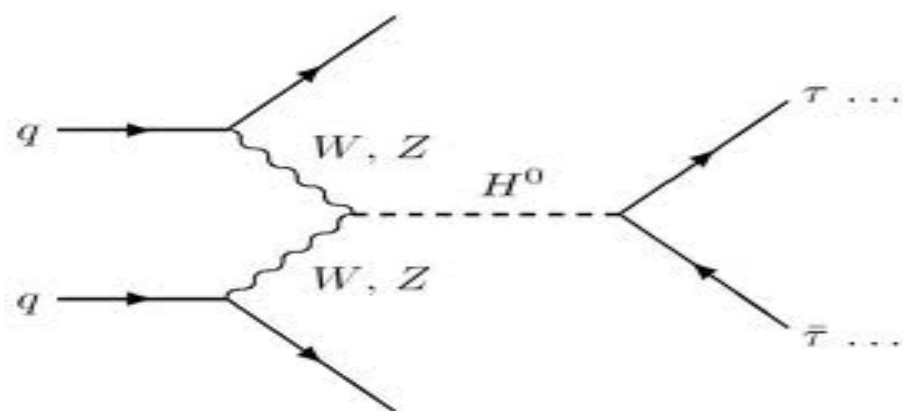
Higgs bozonunun standard modele göre başlıca oluşma kanalları aşağıda gösterilmektedir. Bu kanalların, Higgs oluşumunun bu modele göre kaçta kaçını vereceğini hesaplanabiliriz.



Beklenen iki protonun çarpışması sonunda Higgs'in oluşması ve bazı kanallara bozunmasıdır. Bunlardan iki γ (foton) içeren bazı kanallar aşağıda verilmiştir.

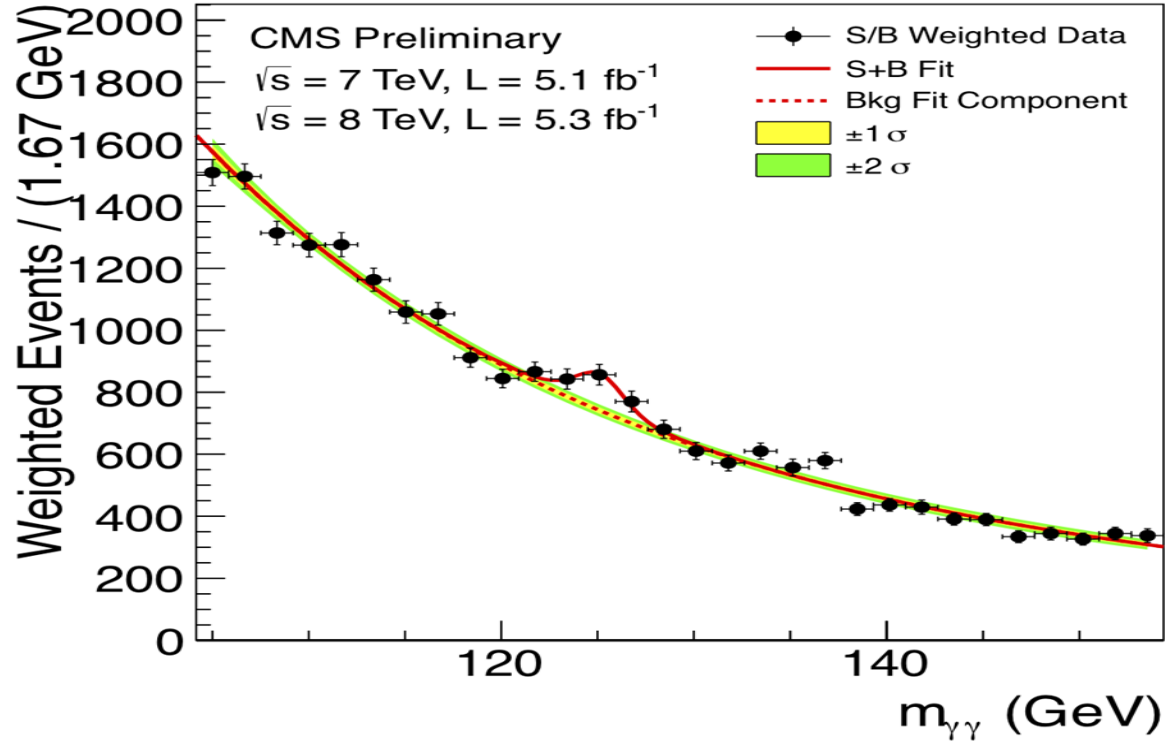


Aşağıda da gene Higgs oluşması ve sonunda bazı olası kanallara bozunması görülmektedir.

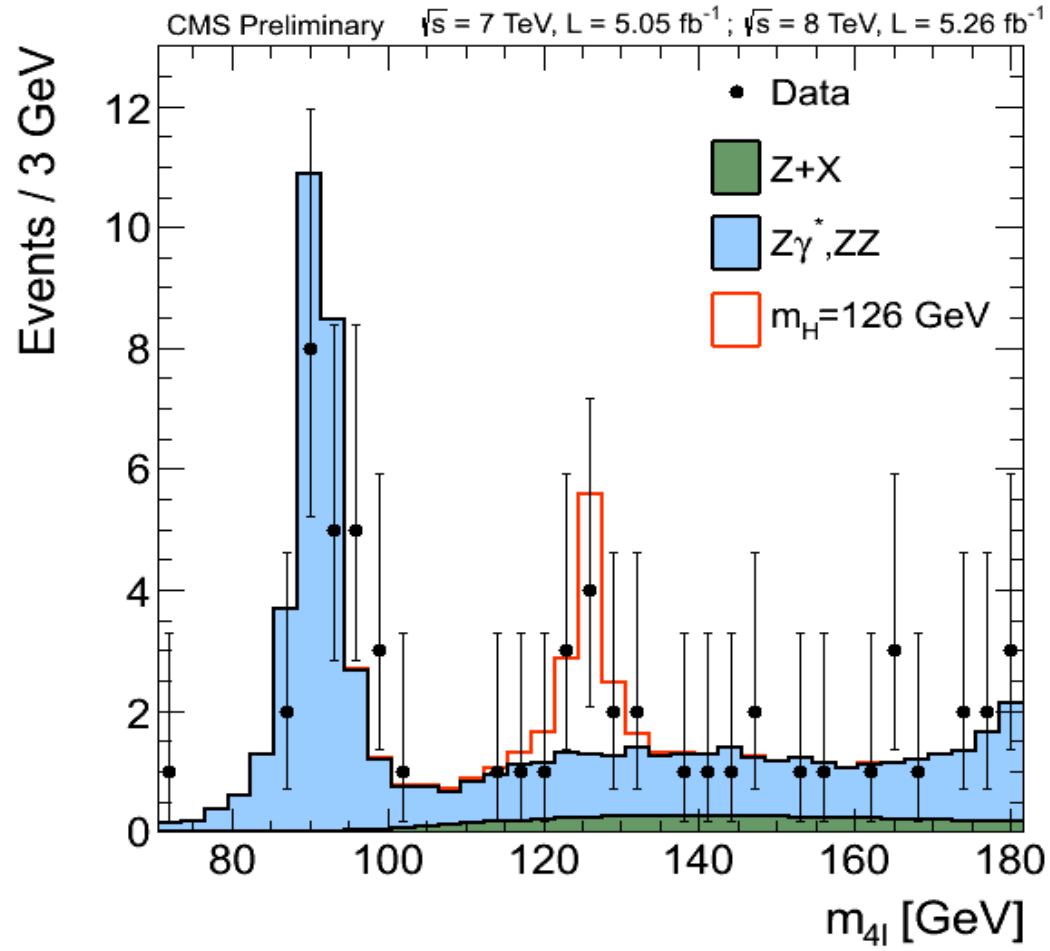


Higgs parçacığının başlıca bozunma kanalları, iki tane aşağı kuarka, iki tane tau leptonuna, iki fotona ve W ile Z bozonlarına dönüşmeleridir. 4 Temmuz'daki seminerde CMS deneyi bu beş kanala bozunma hızlarını vermiştir. Tau leptonuna bozunma beklenenin altında çıkmıştır. ATLAS deneyi ise sadece iki kanala, fotonlara ve Z bozonlarına dönüşmeyi verebilmiştir. ATLAS'ın tau lepton sonucu beklenmektedir. Gene de, her kanal için 5 sigma mertebesinde olayın olduğunu gerçekleştirmiştir. ATLAS deneyi, 31 Temmuz'da açıklanan yeni makalesinde, W bozonuna dönüşmeyi de içeren verilerini açıklamış, ve yeni bir parçacığın bulunduğunu 6 sigma mertebesinde doğrulamıştır. Böylece aşağıdaki grafikte görülen fondan sapmanın rastgele bir olay olma olasılığını milyarda iki mertebesine çekmiştir. W bozonlarına bozunma kanalının açıklanması belki yeni parçacığın bulunmasında daha önce açıklanan iki kanal kadar önemli olmayabilir. Ancak bulunan parçacığın Standard Modelin önerdiği Higgs parçacığı olup olmadığı W ile Z bozonlarına dönüşme oranına son derece duyarlıdır. Bu iki kanala dönüşme oranlarının hassas olarak ölçülmesi bulunan parçacığın beklenen Higgs parçacığı olup olmadığına karar verecektir. Bulunan parçacığın beklenen Higgs parçacığı değil de yepyeni bir parçacık olması da olası. Böyle bir olasılığın olması, tanınmış fizikçi John Ellis'in de her konuşmasında yinelediği gibi fizikçileri üzmeyecek, aksine sevindirecektir. Çünkü böyle bir şeyin olması bize yeni fizik, yeni bilinmeyenler, yeni ufuklar açacaktır.

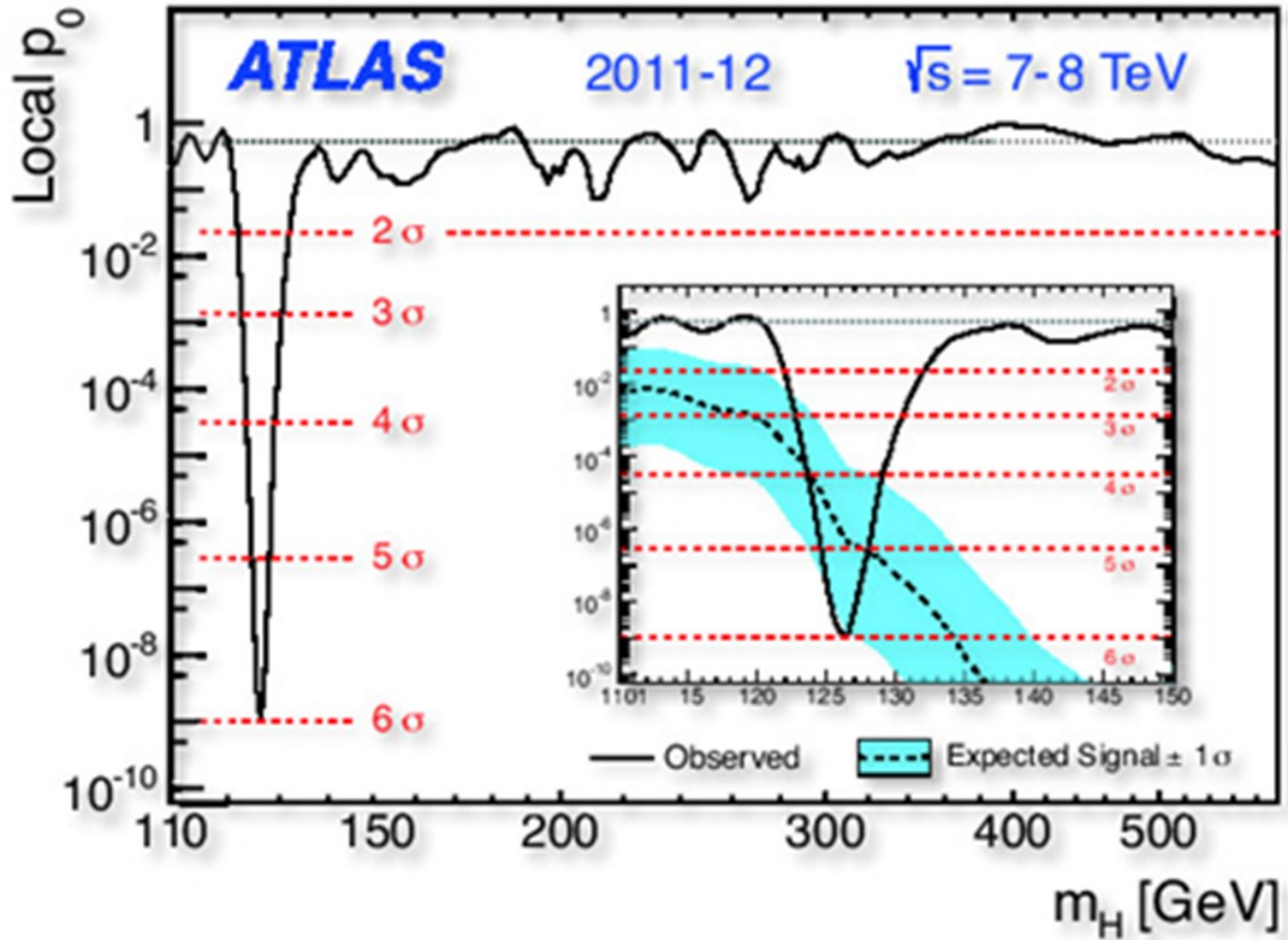
İlkin CERN deneylerinde ne görüldü, onu anlamaya çalışalım. Normal olarak düzgün aşağıya gitmesi gereken eğride küçük bir sapma görüldü.



Bu grafikte oluşan yeni parçacığın fotonlara bozunması görülmektedir.



Yukarıda olay diğer kanalları da içerecek biçimde verilmektedir.



Burada hiçbir şey olmazsa beklenen kesikli çizgi ile ölçülen arasındaki fark yeni bir parçacığın görüldüğünü bize söylüyor.

Sonuçta yeni bir parçacık görüldüğü sanılıyor. Bununla ne demek istiyoruz? Bilindiği gibi bilimde hiçbir şey kesin değildir. Olasılıklar vardır. Doğa size bir oyun oynayıp olmayan bir olayı olmuş gibi de gösterebilir. Bunun için aynı şeyi yineleyip hepsinin ortalama sonucuna bakarsınız. CERN'deki deneyde, görüldüğü sanılan parçacığın, gerçekten yeni bir parçacık olma yerine bir istatistik sapma olasılığı, 31 Temmuz 2012'deki son CERN (ATLAS) raporuna göre bir milyarda ikidir. Gene de bir sapma olabilir. Ancak genelde bu kadar büyük olasılıkla bulundu denilen olayların aksi çıkmıyor. Görülen proton proton saçılmalarının veri analizinde 125-126 GeV enerjide küçük bir yükselmedir. Başka türlü söylersek, 126 GeV kütlelerinde yeni bir parçacık var diyebiliriz. Kararsız olan bu parçacığın sadece iki foton, dört lepton ve iki lepton ve kayıp enerjiye olan kanalları incelenip, sonuçta bu yeni parçacığın Standard Modelde öngörülen parçacığa benzediği gözlenmiştir.

Ancak diğerk özellikleri incelendiğinde, yukarıda da denildiğı gibi, modelde öngörölmeyen başka bir parçacık da gözlenmiş olabilir. Peki bu parçacık neden isteniyordu, modelde nasıl bir görev görecekti? Bunu anlamak için Standard Model nedir? Bunu inceleyelim.

Bilindiğı gibi atomlar elektron ve çekirdekten, çekirdek temelde proton ve nötronlardan, proton ve nötronlar da kuarklardan oluşmuştur. Diğerk bir deyişle atomlar, çekirdek ve proton ve nötronlar temel parçacık değildirler.

Doğadaki dört temel etkileşmelerden ilk bulunanı olan elektromanyetik etkileşmelerde foton adı verilen kütsesiz aracı parçacık yoluyla, elektrik yükü olan tüm parçacıklar etkileşirler. Erimi sonsuzdur. Atomları, elektronlarla çekirdeğı, bir arada tutan kuvvet budur. Ayrıca atomların bir araya gelip molekülleri, çok sayıda atom ve molekülün bir arada bulunduğı katı ve sıvı maddenin, örneğın insan vücudunun, taşların, kayaların oluşmasını bu etkileşme mümkün kılar.

İkinci kuvvet yeğin etkileşmelerdir. Proton ve nötronun içindeki kuarklar bu kuvvetle birbirlerine tutunup proton, nötron ve diğerk atom altı parçacıkları, örneğın π mezonunu oluştururlar. Ayrıca bu kuvvet nötronların ve birbirlerini elektromanyetik kuvvetle iten protonların çekirdek içinde bir arada kalmalarını sağlar. Bu kuvvetin erimi çok küçüktür. 10^{-15} m mertebesinde. Çekirdek dışında sıfıra gider. Ancak çekirdek içinde elektromanyetik kuvvete galebe çalar.

Üçüncü kuvvet radyoaktiviteyi veren zayıf etkileşmelerdir. Erimi 10^{-16} - 10^{-17} m'dir. Bunlar W^+ , W^- ve Z adları verilen kütleli aracı bozonlar ile iletilirler. Son kuvvet ise erimi sonsuz olan kütle çekimdir. Evreni bir arada tutar.

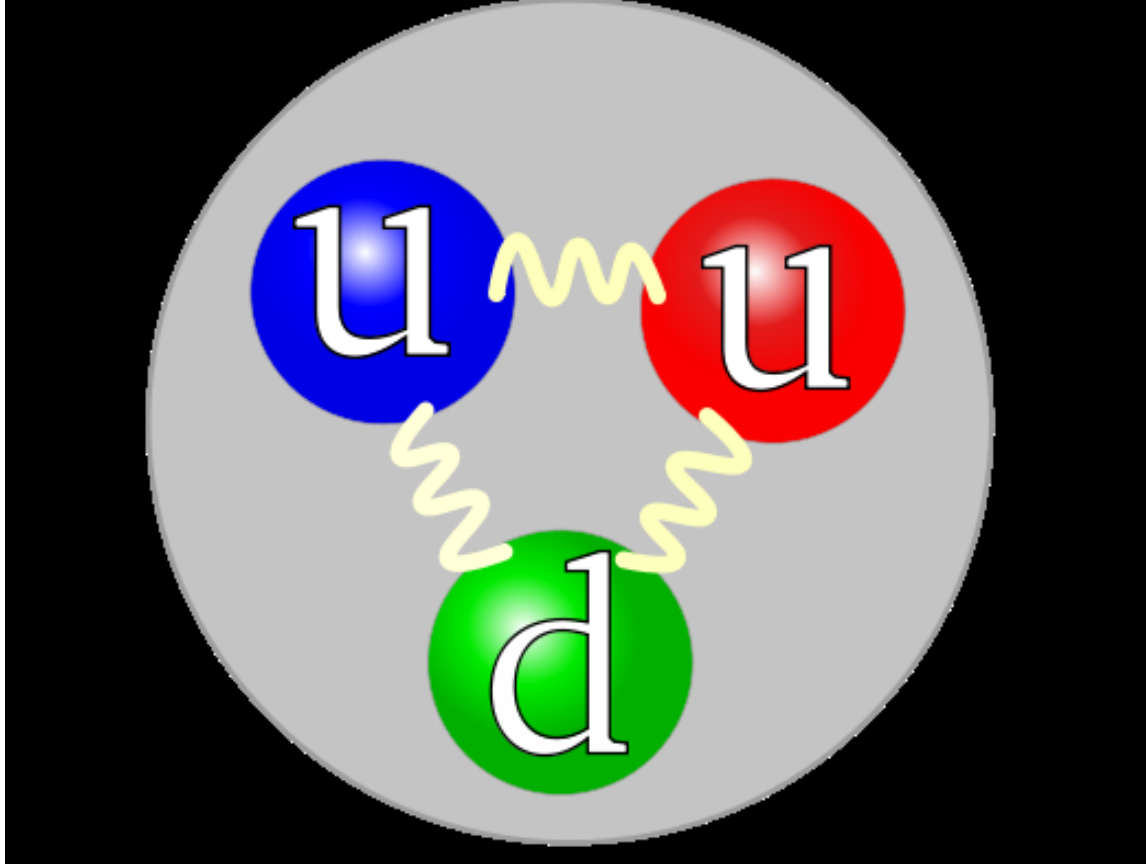
Elektromanyetik kuvvetler kuramı, 1860'larda, Maxwell tarafından, klasik olarak tamamlanmış, 1920'lerin sonunda kuantize edilmiş, ortaya çıkan çelişkiler 1940'ların sonunda Feynman, Schwinger ve Tomonaga tarafından giderilmiştir.

Zayıf etkileşmelerin bugün geçerli olan kuramı, 1967-68 yıllarında Weinberg ve Abdussalam tarafından ortaya atılmıştır. Kuramın matematiksel tutarlılığı 1972 yılında 't Hooft ve Veltman tarafından gösterildi. Ancak kuram bilinenlere ek olarak bazı yeni parçacıkların olması gerektiğini söylüyordu. Bunlardan W^+ , W^- ve Z adları verilen kütleli aracı bozonlar CERN'deki deneylerde gözlemlendiler. Ancak kuramın tutarlı olabilmesi için gereken Higgs bozonu bu güne dek deneylerce bulunamadı. Bugün bulunduğu sanılan parçacık işte bu boşluğu dolduruyor. Kuvvetli etkileşmeler ise kuarklar arasında sayıları sekiz olan kütsesiz gluonlar aracılığıyla gerçekleşiyor. Kuarklar ve gluonlar tek başlarına gözlenmedilerse bile varlıkları dolaylı yoldan, jetler vasıtasıyla görüldüler. Sonuçta bugüne dek doğayı en basit biçimde betimlediği sanılan Standard Modeldeki temel parçacıkların Higgs dışındaki hepsi, dolaylı, veya dolaysız bir biçimde gözlenmişlerdir.

Tek kalan temel parçacık olan Higgs ise yeni gözleniyor. Böylece üç temel etkile meyi bir araya getiren Standard Model bir anlamda tamamlanmış oluyor.

Standard modeldeki parçacıklar nelerdir? İlkin her biri üç renkten olmak üzere altı tane kuark var. Bunlardan en hafifleri olan alt ve üst kuark protonu, nötronu ve π ve ρ mezonu ve Δ baryonu gibi ilk bulunan kararsız parçacıkları oluşturuyor. İlk iki kuark, çevremizdeki maddedeki proton ve nötronu oluşturur. Yapılan deneylerde daha önce görülmeyen, bir takım kararsız parçacıklar ortaya çıkmıştı. Bunlar arasında, 1947 yılında gözlenen kaonun diğerlerinden farklı olduğu görüldü. Bu olayı, daha önce bilinenden farklı bir kuarkın olayda yer almasıyla açıkladılar. Bu kuarka ‘tuhaf kuark’ adı verildi. Bu yeni kuarka sonradan yenileri eklendi. Tılsımlı (bulunuşu 1974), a a ı (bulunuşu 1976) ve yukarı (bulunuşu 1995) diye  e ni adları verilen kuarklar gözlendi.

Bunlar ikişer ikişer bir araya gelip birer aile oluşturuyorlar. Bunlara paralel olarak genel adları lepton olan, elektron, elektron nötrinosu, bunun ağır durumu olan muon ve muon nötrinosu ve tau (bulunuşu 1975) ile tau nötrinosu (bulunuşu 2000) var. Bunlar da ikişer ikişer birleşip üç aile oluşturuyorlar. Bunlara ek olarak bunların etkileşmesini sağlayan parçacıklar var. İlki foton, elektrik yükü sıfırdan farklı olan parçacıkların, yani kuarkların ve elektron, muon ve tau parçacığının elektromanyetik etkileşmeleri foton aracılığıyla oluyor. Gluonlar, kuarklarda bulunan renk yükü ile olan etkileşmeye aracı oluyorlar. Renkler üç temel renk. Gluonlarda bir renk ve bir anti renk var. Tüm renkler ve anti renkler toplandığında beyaz olacağından, beyaz renk etkileşme vermiyor. İkili alınca geriye sekiz değişik seçenek, demek ki sekiz gluon kalıyor. W^+ , W^- ve Z bozonları ise zayıf etkileşmeleri iletiyorlar.



Örneğin bir proton yukarıda görüldüğü gibi iki üst ve bir alt kuarktan oluşuyor. Nötronda ise iki alt, bir üst kuark var. Bunlar gluon adı verilen bozonlarla birbirlerine bağlanıyorlar.

Quarks	$2.4 \text{ MeV}/c^2$ $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ u up	$1.27 \text{ GeV}/c^2$ $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ c charm	$171.2 \text{ GeV}/c^2$ $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ t top	0 0 1 γ photon
	$4.8 \text{ MeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d down	$104 \text{ MeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s strange	$4.2 \text{ GeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b bottom	0 0 1 g gluon
	$<2.2 \text{ eV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$ ν_e electron neutrino	$<0.17 \text{ MeV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ muon neutrino	$<15.5 \text{ MeV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ tau neutrino	$91.2 \text{ GeV}/c^2$ 0 0 1 Z^0 Z boson
Leptons	$0.511 \text{ MeV}/c^2$ -1 $\frac{1}{2}$ e electron	$105.7 \text{ MeV}/c^2$ -1 $\frac{1}{2}$ μ muon	$1.777 \text{ GeV}/c^2$ -1 $\frac{1}{2}$ τ tau	$80.4 \text{ GeV}/c^2$ 1 1 W W boson
				$126 \text{ GeV}/c^2$ 0 0 0 H^0 Higgs boson
				Scalar Boson Gauge Bosons

Yukarıda adı geçen kuarklar (eflatun), leptonlar (yeşil) ve aracı bozonlar (kırmızı) bir arada gösterilmektedir. Kuark ve leptonlardan üçer aile vardır.

Three generations
of matter (fermions)

	I	II	III	
mass →	2.4 MeV/c ²	1.27 GeV/c ²	171.2 GeV/c ²	0
charge →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name →	u up	c charm	t top	γ photon
Quarks	4.8 MeV/c ²	104 MeV/c ²	4.2 GeV/c ²	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	d down	s strange	b bottom	g gluon
Leptons	<2.2 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	91.2 GeV/c ²
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z⁰ Z boson
Gauge bosons	0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	80.4 GeV/c ²
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e electron	μ muon	τ tau	W[±] W boson

Bu temel parçacıkların kütleleri, elektrik yükleri, spinleri ve adları gösterilmiştir. Burada Higgs mezonu gösterilmemiştir. En hafif olan u kuarkı 2,4 MeV/c² iken en ağır olan t kuarkı 171200 MeV/c², yaklaşık 70000 kat daha ağır. Elektron 0,511 MeV/c² iken tau 1777 MeV/c².

Zayıf etkileşmeler, kuarkların çeşnilerini, aynı aile içinde leptonların cinslerini değiştirebiliyor. Örneğin bu etkileşme ile alt kuark , üst kuark olabiliyor. Ancak kuarklarda aynı zamanda da elektrik ve renk yükleri var. Demek ki kuarklar, değişik kuvvetlerle üç değişik biçimde etkileşiyor. Leptonlar da bu üç aracı bozon vasıtasıyla etkileşebiliyor. Örneğin muon ile W etkileşip muon nötrinosu olabiliyor. Eğer etkileşmede yük değişmeyecek ise o zaman aracı bozon Z oluyor. Nötrinolar sadece zayıf etkileşmelere katılıyorlar. Yüklü leptonlar hem zayıf hem elektromanyetik, kuarklar ise hem zayıf, hem elektromanyetik, hem de yeğin etkileşmelere katılıyorlar. Zayıf etkileşmeler o kadar zayıf ki, sadece zayıf etkileşmeleri olan nötrinolar dünyanın bir ucundan ötekine gitse pek bir şey olmuyor. Ancak demetle çok sayıda, kadrilyonlarca nötrino giderse belki bir kaçı etkileşiyor. Ondan nötrino demetleri yüzlerce km uzakta, yeryüzünden binlerce metre aşağıdaki madenlerdeki hedeflere yollanarak

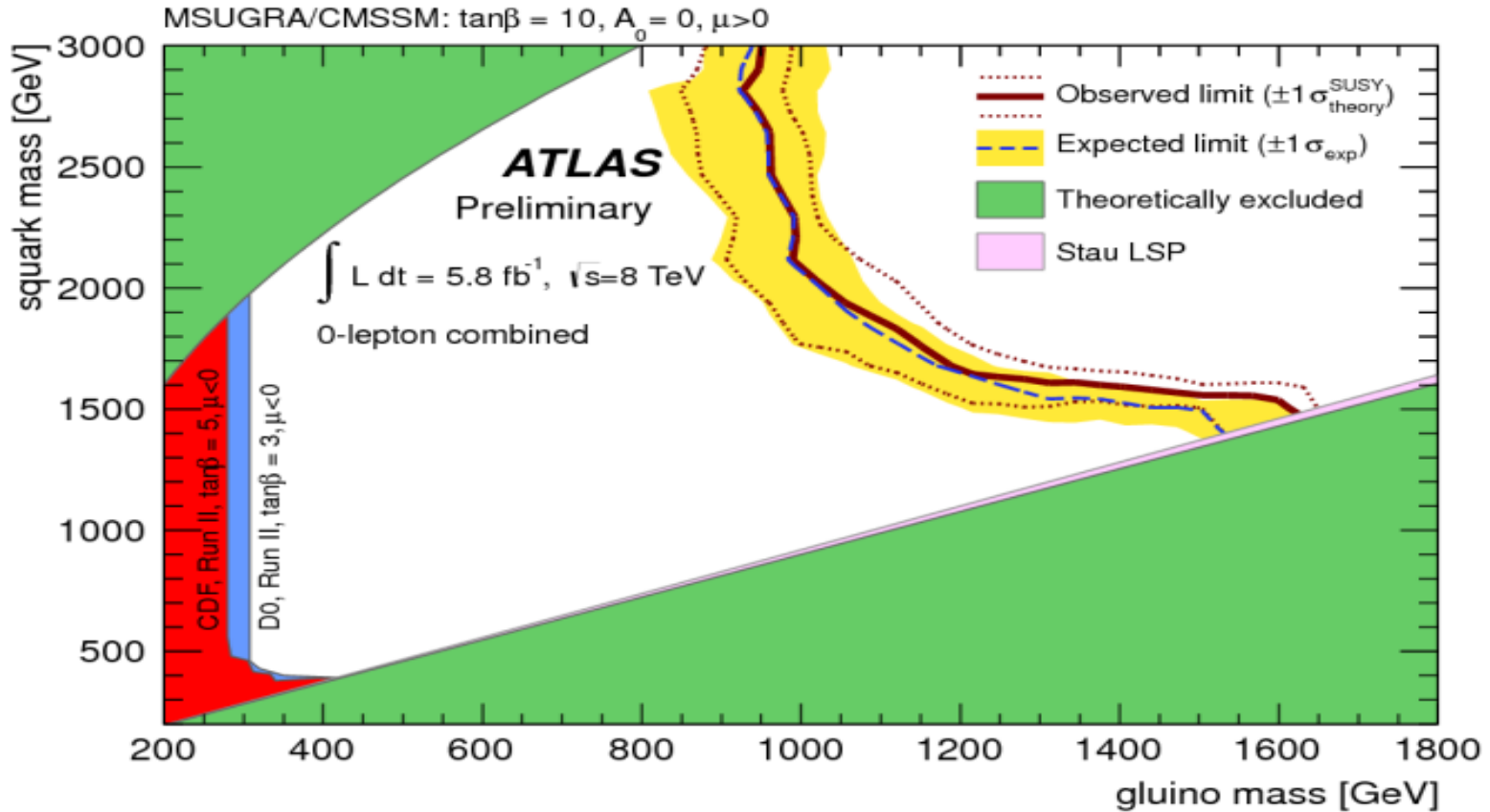
Zayıf etkileşmelerin aracı bozonlarının kütleli oldukları olduklarını söylemiştik. Bunlar aslında kütleleri protonun yaklaşık yüz katı olan parçacıklardır. Spinleri ise 1'e eşit. Spini 1 olan bir model bu parçacıkların kütleleri sıfır değilse tutarlı olamıyor. 't Hooft ile Veltman'ın yaptığı, esas fikri ilkin 1962 yılında Philip Anderson tarafından ortaya atılan, relativistik modeli 1964 yılında Peter Higgs'in inşa ettiği, Higgs'ten bağımsız olarak da aynı yılda Robert Brout, François Englert, Gerald Guralnik , C.R. Hagen ve Tom Kibble'in da gösterdiği gibi, sadece spinor ve vektör alanların bulunduğu modele bir spini sıfır parçacık ekleyerek tutarsız modeli hem kütleli spini bir vektör parçacık içeren, hem de tutarlı yapmanın üst mertebelerde de doğru olduğu, bu yeni modelin sonsuzluklarının tüm mertebelerde giderilebileceği, veya fizikçi deyimiyle "renormalize" olabileceğidir. Her şey güzel de spini sıfır olan bu Higgs parçacığı deneyde gözlenmiyordu. Bundan dolayı adına Prof. Lederman " Allah'ın belası veya cezası" parçacık demişti. İşte bulunduğu sanılan bu parçacıktır.

Burada garip bir durum var. Kuark ve leptonların spini $\frac{1}{2}$, aracılarn spini 1. Bakılırsa spini sıfır olan parçacık en basit olmalı. Standard modelde, Higgs dışında önerilen spini sıfır olan parçacık yoktur. O da bugüne dek bir türlü gözlenmiyordu. Bu arada 1970'lerin sonundan başlayarak sadece spini sıfır olan bir alandan oluşan kuantum alan kuramsal bir modelde etkileşme olamayacağı ileri sürülmüştü. Bu konuda halen çalışmalar yapılıyor. Spini $\frac{1}{2}$ olanlarla etkileşme yapsa bile gene de sıfır spinli bir parçacığın sonunda gözlenmesi ilginç. İnsanın aklına acaba bu parçacık temel bir parçacık olabilir mi (ya da karmaşık parçacık mı) sorusu geliyor. Ayrıca böyle bir spini sıfır parçacığın olması, üst mertebe hesaplamalarda bir takım tutarsızlıklar, sonsuzluklara neden olabilir. Bunlardan kurtulmak için 1970'li yıllarda standard modele ek olarak süpersimetri ortaya atıldı. Bu simetri yoluyla fizikteki bazı sonsuzluklar (tutarsızlıklar) ortadan kaldırılabilirdi.

Süpersimetri CERN’de aranan özelliklerden bir diğeridir. Buna göre bulunan her parçacığın, spini yarım aşağı olan bir eşi vardır. İlk mertebede bunun kütlesi eşi ile aynıdır. Örneğin her kuarka eş olarak bir skuark vardır. Bunların spinleri kuark gibi $\frac{1}{2}$ değil, sıfırdır. Fotona karşılık gelen spini yarım olan fotino, spinin bir olan gluonlara eş olarak spini yarım olan gluino , Higgs parçacığına eş olarak higgsino, kütle çekim için gerekli olan gravitona eş olarak spini $3/2$ olan gravitino, v.b. Her ne kadar bunların kütleleri eşlerinki ile aynı olmalıysa da, doğadaki bu simetri tam olmadığından bu değer bir miktar değişik olabilir. CERN’de şu ana kadar bu parçacıkların hiç biri gözlenmedi. Bu parçacıkların varlığı, modeldeki sonsuzlukların, hiç olmazsa bir kısmını giderecekti. Ancak onlar, şu ana dek yoklar.

Aşağıdaki grafikten de görüldüğü gibi deney sonuçları süpersimetrik parçacıklar olmadığı durum ile uyumludur.

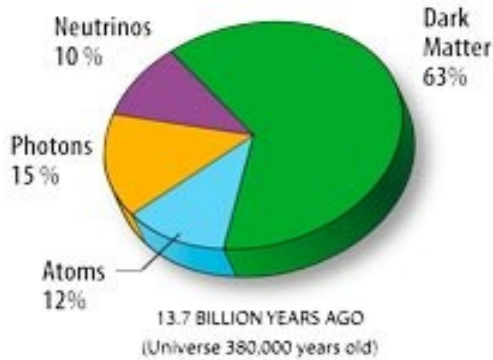
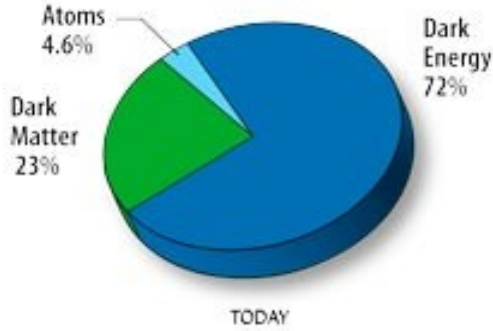
Ayrıca ilk önerilen, minimal süpersimetrik model Higgs bozonu kütlesini az çok Z bozonu mertebesinde veriyordu. Şu anda minimal modelin deneysel verilerce dışlandığını söyleyebiliriz.



Süpersimetri ne için gerekli? Bir defa yukarıda değindiğim gibi kuramsal hesaplardaki bazı sonsuzluklar onlar vasıtasıyla giderilecekti. Zaten süpersimetri bu düşünce ile 1974-75'te önerilmişti. Belki daha da önemlisi kuramsal parçacık fizikçilerinin çoğunu doğru olduğuna inandıkları, hatta “iman” ettikleri sicim kuramının yaşaması süpersimetri olmazsa çok zordur. Bu kuram Standard Modelin aksine, son derece estetik, son derece güzel. Yalnız küçük bir kusuru var. İçinde yaşadığımız sandığımız uzay-zaman boyutunda tutarsız. Süpersimetri olmadan tutarlı olabilmesi için uzay-zaman 26 boyutlu olmalı. Süpersimetri var ise bu sayı 10'a düşüyor. İnsanlara 10 boyut daha olabilir geliyor.

Süpersimetri var ise WIMP (zayıf etkileşme yapan kütleli parçacık) adı verilen en hafif kütleli süpersimetrik parçacık kararlı olacak, başka parçacıklarla sadece zayıf ve kütle çekim kuvveti ile etkileşecektir. WIMP elektromanyetik etkileşmelere katılmadığı için görülemiyor. Kuvvetli etkileşmeleri olmadığından atomların çekirdekleri ile ilişkiye girmiyor. Bu da bu parçacığı görülmeyen “karanlık madde” için uygun bir aday yapıyor. Ancak ne yerin altındaki madenlerde yapılan kozmik ışın deneyleri (örneğin yerin 690 m altındaki Minnesota’daki Soudan madeni) ne de CERN’deki deneyler bu parçacığın olduğuna dair bir işaret vermemiştir.

Karanlık maddenin varlığı, görülür maddenin üzerindeki kütle çekim etkileri ve fon ışınımının kütle çekim merceklemesine uğramasından dolayı öne sürülmüştür. Böyle bir madde yoksa gökadalara, gökada topluluklarının ve tüm evrenin kararlı olabilmesi için kütle çekim kullanılarak yapılan hesaplamaları ile yıldızlar ve evrendeki gaz ve toz gibi görülen maddeyi kullanan hesaplamalar arasındaki bariz bir fark oluyor. Sonuçta elektromanyetik etkileşmeler vasıtasıyla gördüğümüz maddenin kütle çekim etkileşmeleri ile evreni bir arada tutam maddeyle uyuşmadığı anlaşılmıştır. Bunun sonucunda evrende sadece kütle çekim, belki de zayıf etkileşmeler ile etkileşen ağır temel parçacıklar olabileceği öne sürülmüştür.



Evren üzerine yapılan hesaplamalarda görülür maddenin evrendeki kütle ve enerjinin sadece yüzde 4,6'sını oluşturduğu, “karanlık maddenin” ise görülür evrendeki madde ve enerjinin yüzde 23'ünü meydana getirdiği gözlenmiştir.

BBC’de birbirinin içinden geçen iki gökadanın birbirlerinden ayrıldıklarından sonraki durumlarının her ikisinin görünen kütlesi ve bilinen etkileşmeler ile açıklanamayacak bir biçimde olduğuna dair bir haber vardı. Bullet Cluster (Kurşun Topluluğu) adı verilen bu sistem karanlık maddenin varlığının en dolaysız delilidir.

Evrenin bir çok yerinde karanlık madde ile görülür (baryonik) madde kütle çekim dolayısıyla bir arada bulunurlar. Buradaki resimde iki gökada topluluğunun çarpışmasında baryonik ile karanlık maddenin birbirlerinden ayrıldıkları görülüyor.

Röntgen ışınlarıyla yapılan gözlemler, 10 ile 100 milyon Kelvin sıcaklığındaki gaz olan baryonik maddenin sistemin merkezin toplandığını gösteriyor. Gaz parçacıkları arasındaki elektro-manyetik etkileşmeler parçacıkların yavaşlayarak çarpışma bölgesi çevresinde yoğunlaşmalarını (kırmızı) sağlamıştır. Fakat aynı sistemin zayıf kütle çekim merceklenmesinin gözlemleri kütlenin çoğunun baryonik gazın bulunduğu merkez bölgenin dışında olduğunu (mor) göstermektedir.



Elektromanyetik etkileşimleri olmayan karanlık madde, birbirleriyle etkileşmeden geçip gitmektedir. Aşağıdaki resimde görülür (baryonik madde) kırmızı, karanlık madde ise mor renk ile gösterilmiştir.

Ancak karanlık madde varsa bunun sadece gökteki galaksilerin hareketine bakarak değil, bir biçimde kontrollu bir deney ortamında, CERN’de de gözlenmesi beklenmektedir.

Ayrıca 1998 yılında süpernovalar üzerine yapılan gözlemler, evrenin ivmelenmesinin, kütle çekimin varlığından beklenildiği gibi yavaşlamadığını, aksine arttığını göstermiştir. Evrende gözlenen ivmenin artmasını sağlayan nesneye “karanlık enerji” diyoruz. Bu gözlemi yapanlara 2011 Nobel Fizik ödülü verilmiştir. Bu gözlemlere göre evrendeki madde ve enerjinin yaklaşık yüzde 74’ünü bu etkiyi doğuran “karanlık enerji” oluşturmaktadır. Karanlık enerjinin kaynağı üzerine bir tahmin, Einstein kütle çekim denkleminde bulunabilecek kozmolojik sabit terimidir. Şu anda deneyler bu sabitin değerinin bu kadar büyük olamayacağını söylemekte, bu öngörüü desteklememektedir. CERN deneyleri bize bu konuda da bir ışık tutabilir.

Şimdi yukarıda sözünü ettiğimiz etkileri araştıran, sonuçları veren makinenin ve CERN'in ne olduğuna bakalım. Bu bize yapılan işin çapı hakkında bir fikir verecektir.

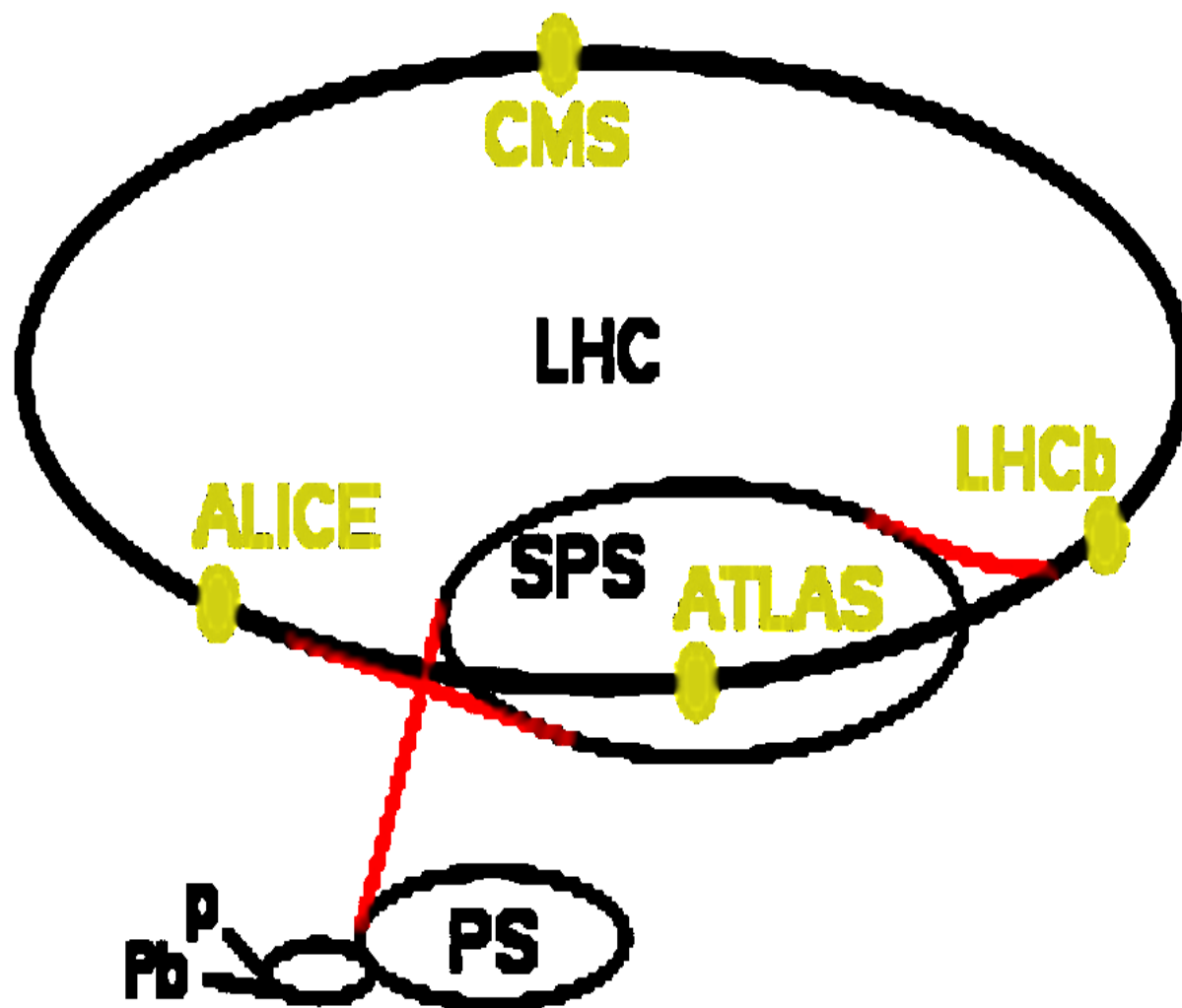
Şu anda CERN'de BHÇ (büyük hadron çarpıştırıcısı-Large Hadron Collider-LHC) çalışıyor. Amaç 7 TeV+ 7 TeV'lik iki proton demetini çarpıştırmaktır. İlk proton demetleri 10.Eylül.2008 tarihinde halkalarda dolaşmağa başladı. Ancak birkaç gün sonra bir takım olumsuzluklar ortaya çıktı. Makine bozuldu. BHÇ bundan sonra bir yıldan fazla tamir edilip her parçası teker teker gözden geçirildi. Gene de başlangıçta yaşanan sorunlar çalışanları korkutmuştu. Beklenmedik yeni olaylar olur diye başlangıçta daha dikkatli olup ilk yıllarda 3,5 TeV + 3,5 TeV'lik demetleri çarpıştırmayı yeğlediler. 20. Kasım. 2009'da protonlar yeniden halkalarda dönmeğe başladı. Üç gün sonra her demette 450 GeV'lik protonların çarpışması gerçekleşti.

Deney 2009 yılının g z aylarında başladı. 2010 yılında veri alındı. Makine 2011 yılında programına uygun olarak veri aldı. Yıl boyu proton demetleri 3,5 TeV + 3,5 TeV enerjide  arpıştırıldı. Yılın sonunda, yaklaşık bir ay, proton demetlerinin yerini ağır iyon demetleri aldı. 2012 yılında enerji 4 TeV + 4 TeV'e çıkartıldı. Bu küçük enerji artışı ile kısa sürede daha önceki yılın verilerine eşit veri toplandı. 2012 sonunda yaklaşık 20 ay süre için makine bakıma girecek. Sonraki çalışmasında ise makine 7 TeV + 7 TeV'e çıkartılacaktır.

Ağır kurşun iyonları ise, çekirdek başına 574 TeV (92 J) enerjide  arpışacaktır. Bu enerjinin ne demek olduğunu anlamak için sadece yaklaşık bir sivrisineğin enerjisine eşit olduğunu söyleyelim. Ancak çok küçük bir hacimde olduğu için istenilen katkıyı yapıyor.

Yaklaşık on yıl bu şekilde çalıştıktan sonra özellikle ATLAS ve CMS bölgelerindeki "luminosite"nin arttırılması planlanıyor.

Makinenin, daha doğrusu makinelerin konumu hakkında bilgi aşağıda verilmektedir.



BHÇ'nin ön hızlandırıcıları teker teker ele alırsak:

Protonlar ilkin çizgisel bir hızlandırıcı olan LINAC 2'de 50-MeV'lik enerjiye getiriliyorlar. Buradan proton senkrotron hız artırıcıya (PSB') yüklenip enerjileri 1,4 GeV'e getiriliyor. Proton Senkrotronu enerjilerini 26 GeV'e yükseltiyor. Süper Proton Senkrotron enerjilerini 450 GeV yapıyor. En son BHÇ enerjilerini 3,5 veya 4 TeV'e ulaştırıyor. İleride bu 7 TeV olacaktır.

Kurşun iyonları için ilk iki evrede LINAC3 ve Alçak-Enerji İyon Halkası (LEIR) kullanılıyor. Bundan sonra PS ve SPS'den geçip LHC'a yükleniyorlar.

Kullanılan algılayıcılar aşağıda verilmiştir:

ATLAS (Toroyd biçiminde BHÇ Aygıtı- *A Toroidal LHC ApparatuS*)

CMS (Tıkız Müon Bobini- *Compact Müon Solenoid*)

LHCb (BHÇ-güzellik – *LHC-beauty*)

ALICE (Büyük İyon Çarpıştırıcı Deneyi- *A Large Ion Collider Experiment*)

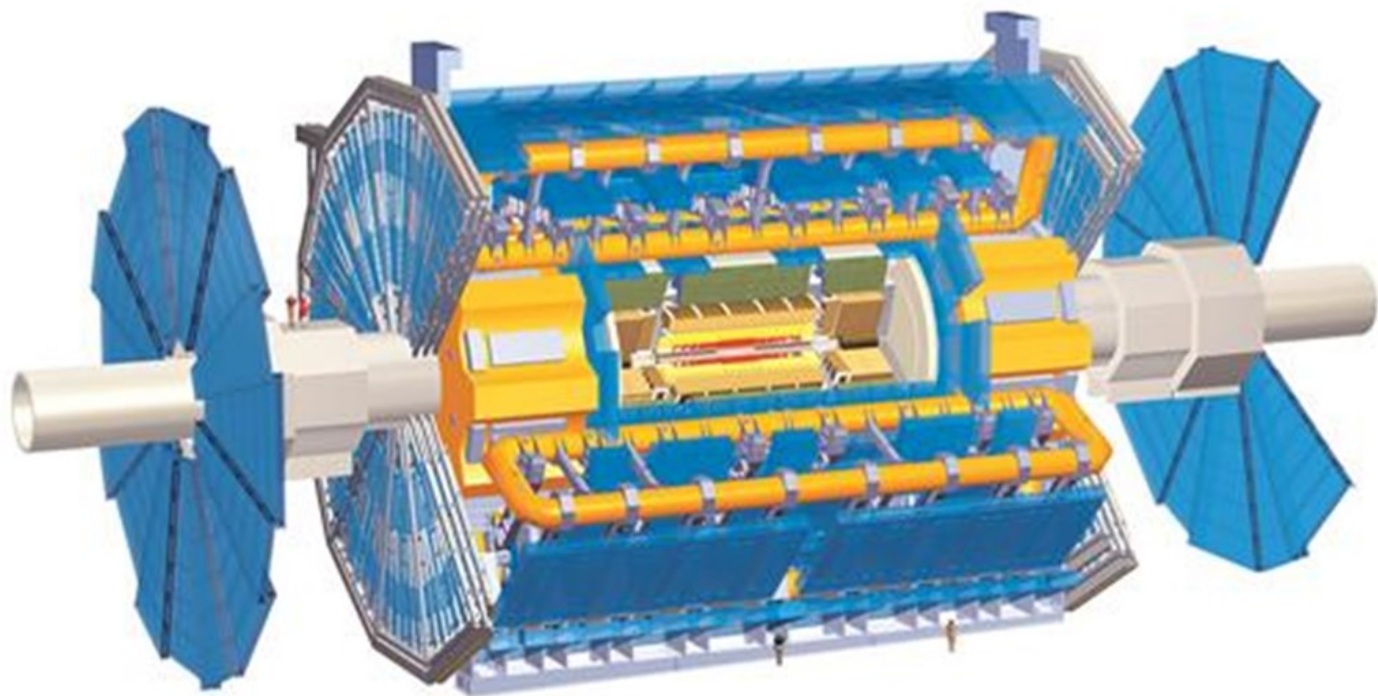
TOTEM (Toplam Esnek ve KırınımSaçılması etkin tesir kesidi ölçümü - *TOTal Elastic and diffractive cross section Measurement*)

LHCf (BHÇ-ileri – *LHC-forward*)

MoEDAL (BHÇ’da Tekkutup ve Ekzotik parçacık Algılayıcısı-*Monopole and Exotics Detector At the LHC*)

Bu deneyleri teker teker ele alırsak çember biçimindeki hızlandırıcının birbirine en uzak iki noktasında, açı olarak bakarsak çemberin artı ile eksi 90 derecesinde, iki çok amaçlı algılayıcı var. Bunlardan biri CMS (Tıkız müon bobini), diğeri de ATLAS algılayıcısıdır. ATLAS algılayıcısı 46 m uzunluğunda, 25 m yüksekliğinde ve 25 metre genişliğinde 7000 ton ağırlığında bir makinedir. CERN'in İsviçre kısmında, Meyrin mevkiinde, şimdiye dek yapılan en büyük hacimli algılayıcıdır. 3000'i aşkın kişi bu algılayıcının yapılmasında ve çalışmasında yer alıyor. Türkiye'den Ankara Üniversitesi ve Boğaziçi Üniversitesi gruplar bunların içindedir.

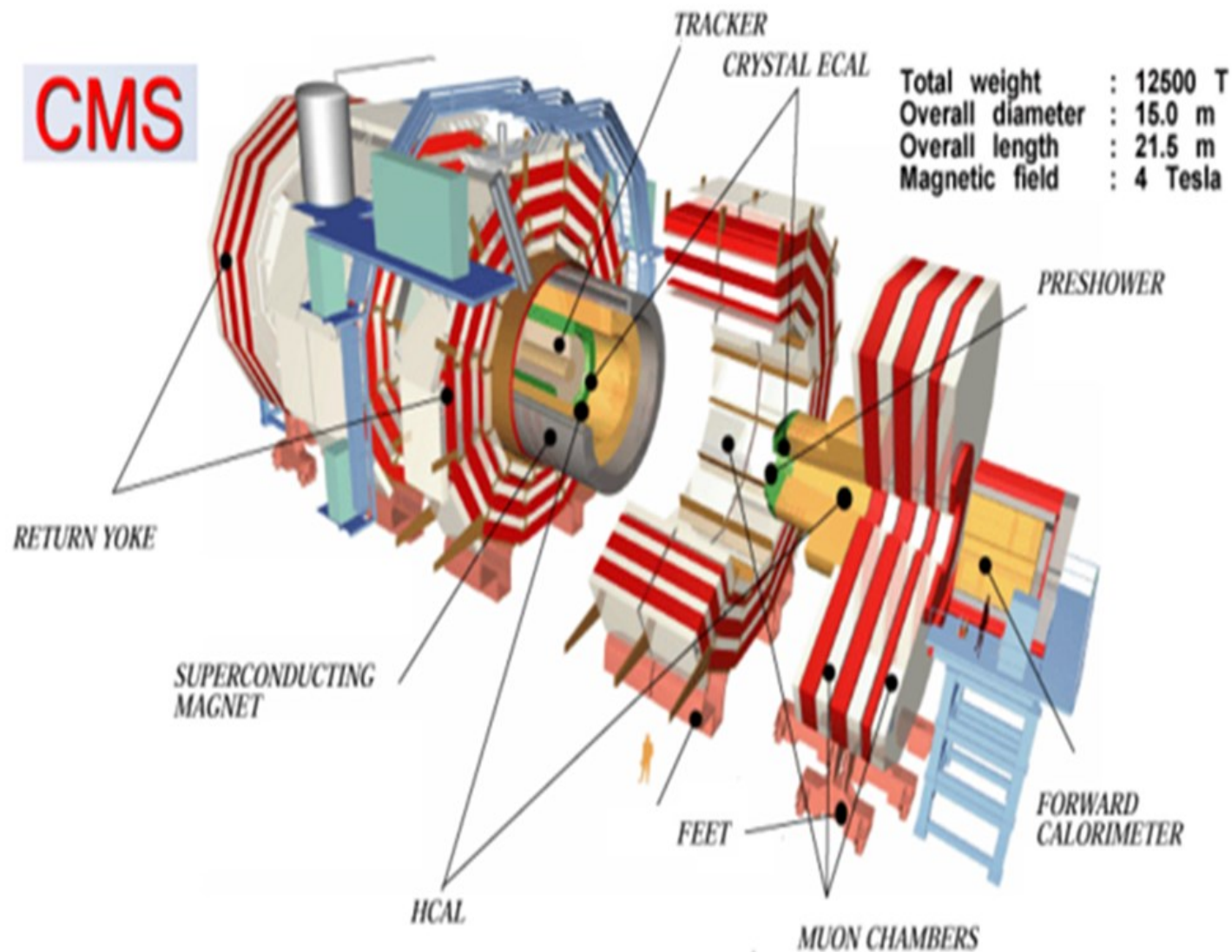
Atlas algılayıcısının şemasını aşağıda görüyoruz.



CMS algılayıcısı ise daha küçük, ama daha ağırdır. Ağırlığı 12500 tondur . Bunda da 3600'den fazla kişi çalışmaktadır. Hızlandırıcının Fransa kısmında yer alıyor. Türkiyeden Boğaziçi Üniversitesi, Çukurova Üniversitesi, İstanbul Teknik Üniversitesi ve O.D.T.Ü grupları burada çalışıyorlar. Yalnız ATLAS'taki Boğaziçi grubu içinde Doğuş Üniversitesinden, CMS'deki Boğaziçi Grubu içinde de Kafkas, Uludağ, Abant İzzet Baysal, Marmara, Süleyman Demirel Üniversitelerinden fizikçiler bulunuyor. İstanbul Teknik Üniversitesi grubu içinde ise Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesinden araştırmacılar olacaktır.

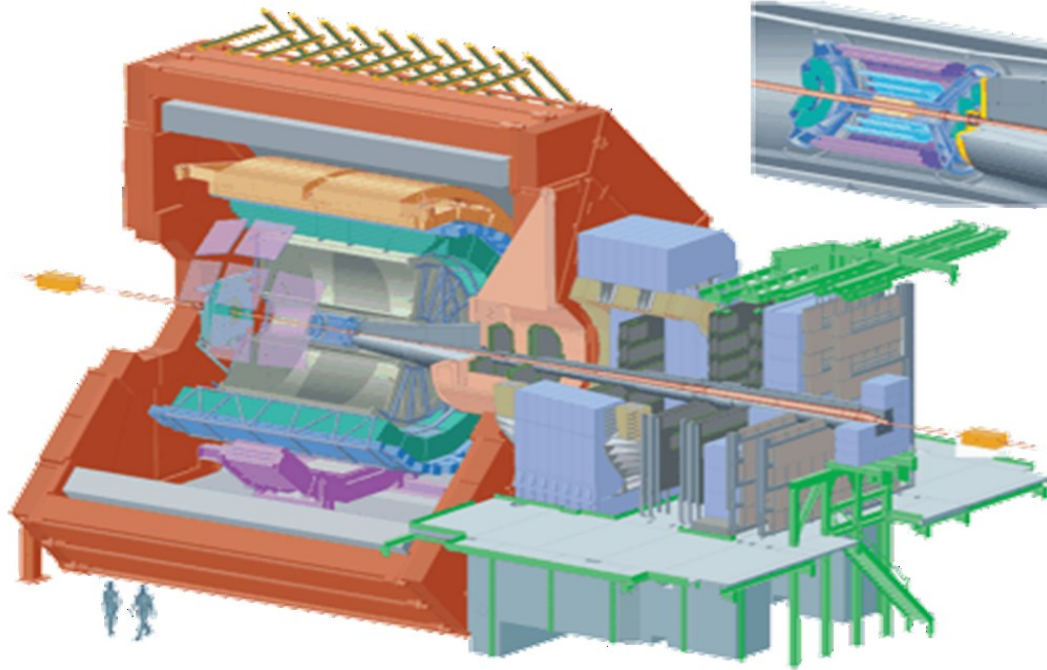
Bu iki algılayıcı tüm yenilikleri bulmağa çalışacaktır. Nitekim 4.Temmuz.2012'deki seminerde Higgs bozonuna benzer yeni bir parçacık bulunduğunu bir iki algılayıcı grubu birlikte açıklamıştır.

CMS

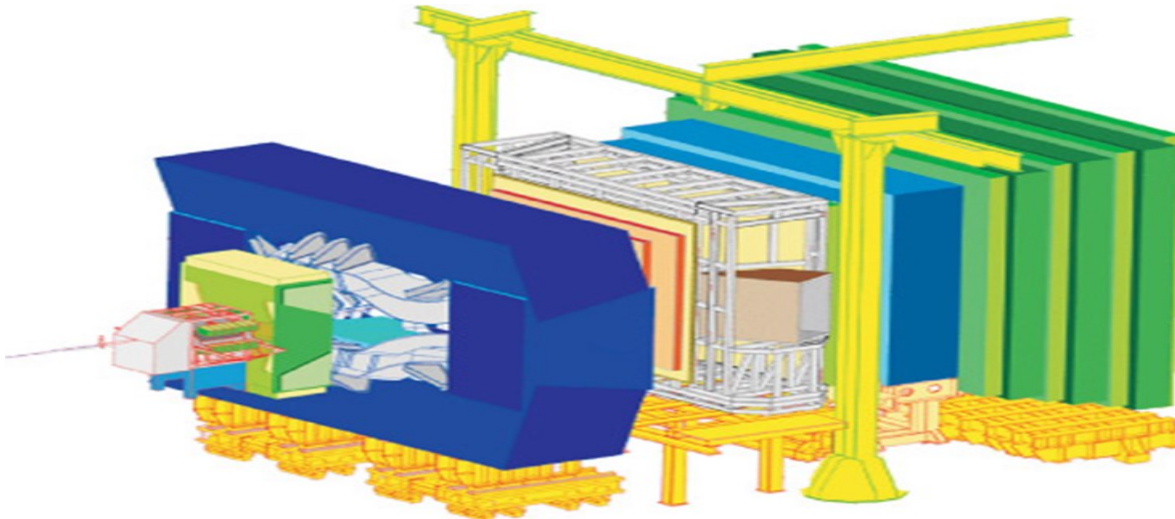


Bunların dışında dört deney özel amaçlarla kurulmuştur. İlki *ALICE* deneyidir. Bu deney BHÇ enerjilerindeki çekirdek etkileşmelerini incelemek için kurulmuştur. Kurşun iyonlarını çarpıştırıp güneşin içindekinden yüz bin kereden çok daha sıcak ortam yaratılacaktır. Amaç bu ortamda yeni bir kuark-gluon plazma fazı olup olmadığına bakmaktır. Kuark hapsinin ortadan kalktığı böyle bir fazın varlığı, kuarkların hapsi ve kiral simetrinin yeniden sağlanması gibi Kuantum Renk Dinamiğinin temel varsayımları burada sınanacaktır. *ALICE* deneyi ayrıca proton-proton çarpışmaları ile kurşun çekirdeklerinin çarpışmalarının sonuçlarını karşılaştıracaktır. Bu deney Kasım 2010'da çalışmaya başladı. Bu yılki çarpışmalar 6 Aralıkta bitti. 2011'de Kasım ayında bir ay için deney tekrarlandı. Yeni veriler alındı. 2012 yılı yaz sonunda proton ile kurşun demetleri çarpıştırıldı. Bu deneyde 1500'den fazla kişi çalışıyor. Türkiye'den Yıldız Üniversitesinden bir grup bu deneyde yer alıyordu. TAEK para vermeyince çıktılar. Algılayıcının uzunluğu 26 m, yüksekliği 16 m, genişliği 16 m, ve 10000 ton ağırlığındadır.

2012 yılı Ağustos ayında Vaşington'da toplanan “Kuark maddesi” konferansında bu deneyde çalışan fizikçiler yaklaşık 5,5 trilyon derecedeki kuark-gluon plazmasını elde ettiklerini açıkladılar. Bu sıcaklık Büyük Patlama olduktan mikro saniye sonraki durumu vermektedir ve daha önce 2010 yılında, Brookhaven Ulusal Laboratuvarında erişilen 4 trilyon derecedeki sıcaklığı aşmaktadır. Aşağıda ALICE algılayıcısı verilmektedir.



İkinci özel amaçlı deney LHCb (Büyük Hadron Çarpıştırıcısı “Güzellik”) deneyidir. Burada b kuark kullanılarak doğada niçin sadece maddenin olup, anti maddenin olmadığı araştırılacaktır. Bilindiği gibi büyük patlamada eşit miktarda madde ile anti maddenin oluştuğu sanılıyor. Sonradan bu simetri bozulup gördüğümüz evrende hemen hemen tamamen madde kalıyor. Bunun nedeni anlamağa çalışılacak. Bu deneyde yaklaşık 700 kişi çalışıyor. Algılayıcı 21 m uzunluğunda, 10 m yüksekliğinde ve 13 metre genişliğindedir. Ağırlığı 5600 tondur.



Üçüncü özel amaçlı deneyde protonun büyüklüğü hassas olarak ölçülecek ve çarpıştırıcının lüminositesi ayarlanacaktır. Bu deneyde ileri yöndeki parçacıklar üzerinde odaklanılacaktır. Deneyin adı TOTEM'dir (Toplam esnek ve kırınım etkin tesir kesidi ölçümü). Bu deneyde 70'den fazla fizikçi çalışıyor. Uzunluğu 440 m, yüksekliği 5 m, genişliği 5 m, ağırlığı 20 ton. 8 algılayıcısı var.

Dördüncü deneyin adı ise LHCf (İleri yönde Büyük Hadron Çarpıştırıcısı). Burada az sayıda fizikçi Büyük Hadron Çarpıştırıcısındaki ileri yöndeki parçacıkları ve bunların çarpışma sonrası ortaya çıkarttığı parçacık çağlayanlarını inceleyip uzaydan gelen kozmik ışınlarının dünyamızdaki maddeyle çarpıştığında oluşturacağı benzeri olayları anlamaya çalışıyor. Bu deney nispeten küçük boyutlarda. 30 cm uzunluğunda, 10 cm yüksekliğinde ve 10 cm genişliğinde iki tane algılayıcı kullanıyor. Her biri 40 kg ağırlığındadır.

Ayrıca tek kutup (monopol) veya dyon gibi çok ender bulabilecek ekzotik parçacıkları arayacak yeni bir deney de LHCb deneyinin mağarasına kurulacaktır. MoEDAL (büyük hadron çarpıştırıcısındaki monopol ve ekzotik parçacıklar algılayıcısı) adı verilen bu deneyde çarpışmalarda üretilecek büyük kütleli parçacıklar bulunmaya çalışılacaktır. Bu deney henüz çalışmamaktadır.

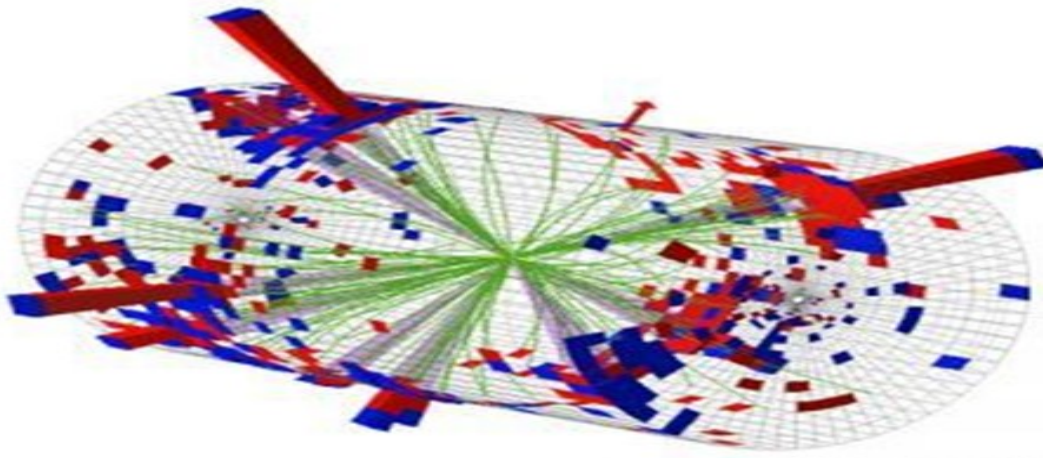
Peki Higgs veya ona benzer bir parçacık bulunmasıyla CERN'deki makinenin işlevi bitti mi? Tabii ki hayır !

Bu makineyi kullanarak karanlık maddenin, ek boyutların, kuark gluon plazmasının ve TeV (trilyon elektron volt) enerjilerinde beklenen yeni fiziğin araştırılması düşünülmüştü.

Daha ekzotik bir düşünce olduğundan ilkin ek boyutları ele alalım.

Kuramcılar, özellikle sicim kuramlarının tutarlı olması ve/veya kütle çekim kuvvetinin, diğerlerine göre çok zayıf olmasını açıklamak için uzayın, bizim şu anda farkına varamadığımız ek boyutları olduğunu ileri sürdüler. İçlerinde doğumu ve orta öğrenimini itibariyle Türkiye kökenli Savas Dimopolos'un da bulunduğu bir grup aslında 3+1 değil de 4+1 veya 5+1 boyutta yaşamış olabileceğimizi önerdi. Dört temel etkileşmeden üçü üç boyutlu bir zar üzerinde olan görülür evrenin etkili oluyor, sadece kütle çekim ek boyutlarla duyuluyordu. Bu da kütle çekimin niçin diğerlerine göre son derece zayıf bir etkileşme olduğunu açıklıyordu.

Ancak böyle boyutlar varsa, CERN'deki makinede, hemen jetlere bozunan, minik karadelikler oluşacaktı. Eğer uzay boyutu, şu anda kabul ettiğimiz gibi üç ise şu anda erişilen birkaç TeV mertebesinde enerjilerde bunların oluşmasını göremiyorduk. Ancak uzay boyutu daha çok ise, BHÇ enerjilerinde dolaylı olarak bu karadeliklerin oluşunu gözleyebilecektik. Hatta mahkemelere başvurup oluşan karadeliklerin dünyamızı yutacağını ileri sürüp BHÇ'nin çalışmasını engellemek isteyen kişiler ortaya çıktı. Eğer bu minik karadelikler oluşuyorsa bile 10^{-27} s içinde çoğunlukla jetler halinde görülecek gluon ve kuarklara bozunacaklardır. Bu olayın belirgin bir işareti vardır.



CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Mon May 23 21:46:26 2011 EDT
Run/Event: 165067 / 347495624
Lumi section: 280
Orbit/Crossing: 73256853 / 3161

Jetler

CMS grubu tarafından <http://cms.web.cern.ch/news/search-microscopic-black-hole-signatures-large-hadron-collider> 'de yayınlanan bir makalede, oluşabilecek kara deliklerin olası bozunma türlerinin 2011 yılında alınan tüm verilere dayanarak yapılan incelenmesi sonucu böyle bir karadeliğin kütesinin $3,8 \text{ TeV}/c^2$ 'den daha az olamayacağı sonucuna varmışlardır. Elleriinde veriler, karadeliklerin etkilerini içermeyen Standard Model öngöröleri ile tam olarak uyuşuyordu.

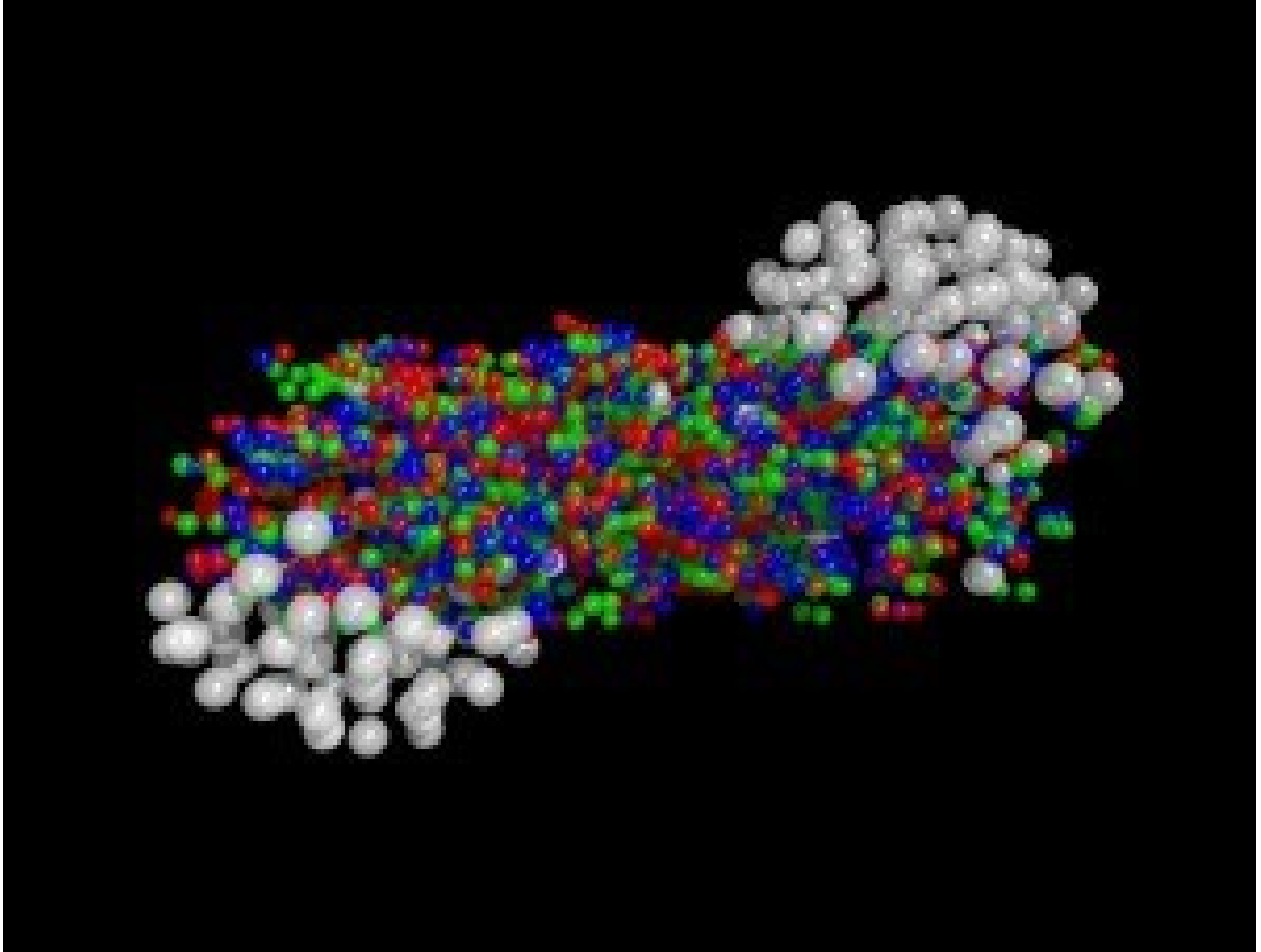
Ayrıca ATLAS, CMS ve bu iş için özel olarak tasarlanmış ALICE deneyinde çok yüksek enerjilerde oluşan kuark-gluon plazması incelenecektir. Kuarkların kararlı maddenin yapı taşlarından olan proton ve nötronları oluşturduğunu söylemiştik. Proton ve nötronların içinde birbirlerinden ayrılamayan üçer kuark bulunuyor. Ancak maddeyi çok yüksek enerjilere ve yoğunluklara, büyük patlamadan birkaç mikro saniye sonraki durumuna çıkartırsak şu andaki kurama göre kuarkların hapsi ortadan kalkıyor ve serbest kuark ve gluonlar bir 'çorba' içinde bir arada bulunuyorlar. CERN'deki deneylerde her yıl bir ay proton demetleri yerine 82 protonu olan kurşun iyonları çarpıştırılıyorlar. Bunların muazzam enerjisi ile sıcaklığın yaklaşık 5,5 trilyon dereceye erişmesiyle kuark-gluon plazması oluşuyor, kuarklar ve gluonlar birbirlerinde ayrılıp yeni bir faz oluşturuyorlar. CERN'de kuramsal olarak olduğu sanılan bu olayın beklenildiği gibi olup olmadığı inceleniyor.

Bu durum ile Büyük Patlamadan mikro saniye sonra karşılaşıldığı düşünülüyor. Ondan dolayı Büyük Patlama gibi o zamanki evrenin her yerinde değil de evrenin çok çok küçük bir parçasında oluşacak aynı olayı yineleyip incelemek fizikçilerin rüyasıdır. Kuarkların gluonlar hapsedildikleri durumdan kurtulup içinde serbest olarak gezindikleri duruma geçtiğini görmek. Amaç bu. Bu olayın ilk belirtilerinden biri oluşan J/ψ parçacıklarının hadronik bozunma hızının değişmesidir. İlk u, d ve s gibi hafif kuarklar faz değişimi ile kuark-gluon plazmasını oluştururlar. Daha ağır olan c ve b kuarklarının oluşturduğu J/ψ ve upsilon gibi parçacıklar, düşük enerjilerde tamamen kaybolmazlar. Ancak hafif kuarklar ve gluonların oluşturduğu plazma içinden geçerken enerji kaybederler. Miktarlarındaki azalma, yüksek enerjilerdeki olası çoğalma, hapsin ortadan kalktığı faz değişimine işaret eder. İlk SPS, sonra altın iyonları ile RHIC'teki deneyler, örgü ayar kuramı ile bu konuda yapılan hesapları bunu doğrulamaktadır. Şimdi de bu BHÇ'daki deneylerde de doğru mu bakılacak. Üç deneyde birbirine benzerler. Ancak BHÇ'da erişilen enerjiler RHIC'in 13 katı büyüktür.

Ulaşılan enerjilere bakarsak ilk makinelerde elde edilen enerji güneşin merkezindeki sıcaklığın yüz bin katıdır. Bu sıcaklığın üzerine çıkıldığında kuark ve gluonlar “erir”. Kuark-gluon plazması oluşur. RHIC’te bu olayın olması için gereken sıcaklığın 2,5 katına eriştiler. BH’da ulaşılan enerjilerde bu sıcaklığın bunun da iki katı, güneşin merkezindeki enerjinin yaklaşık 500000 katı olduğu sanılıyor.

Bu deneyden beklenen diğer bir çıktı kütle sorununa ışık tutmasıdır. Higgs’in bulunması sadece proton ve nötronun yapı taşlarından olan kuarkların kütesini açıklayabilir. Proton ve nötronun oluşturan üç kuarkın kütlelerinin toplamı bu parçacıkların kütesinin sadece yaklaşık yüzde birini vermektedir. Fizikçiler kalan yüzde 99’u açıklayabilmek için kuark gluon plazmasından deliller bulmağa çalışmaktadırlar.

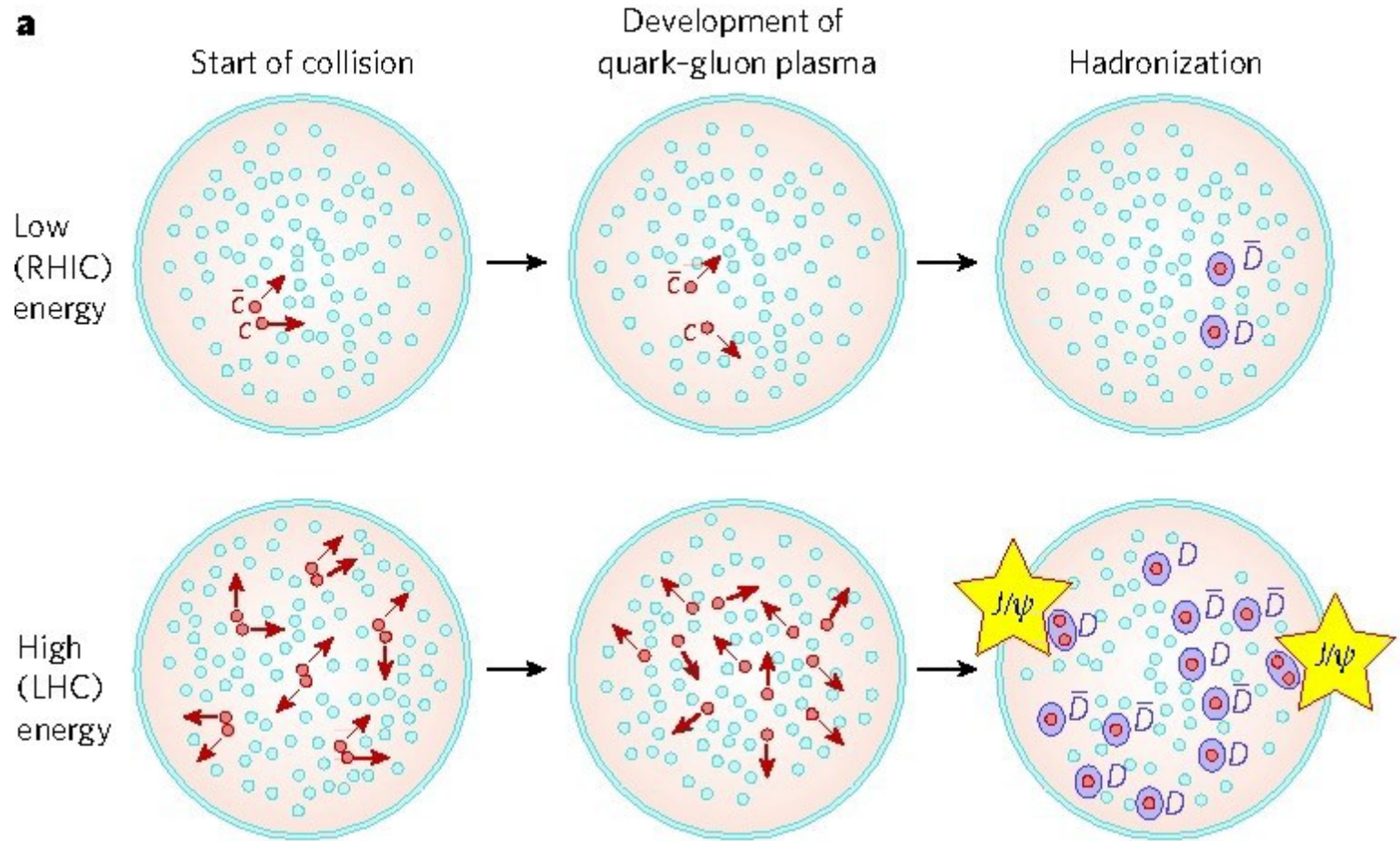
Çarpışan iki kurşun iyonu temsili resmi



Johanna Stachel,
 Physikalisches Institut, U.
 Heidelberg
 Int. School for High Energy
 Nuclear Collisions, Wuhan,
 China, Oct. 31, 2011

	J/ψ	ψ'	χ_c	Υ	Υ'
state	1s	2s	1p	1s	2s
mass(GeV)	3.1	3.7	3.5	9.4	10.0
r (fm)	0.45	0.88	0.70	0.23	0.51
T_D/T_c	1.17	1.0	1.0	2.62	1.12
ϵ_D (GeV/fm ³)	1.92	1.12	1.12	43.3	1.65

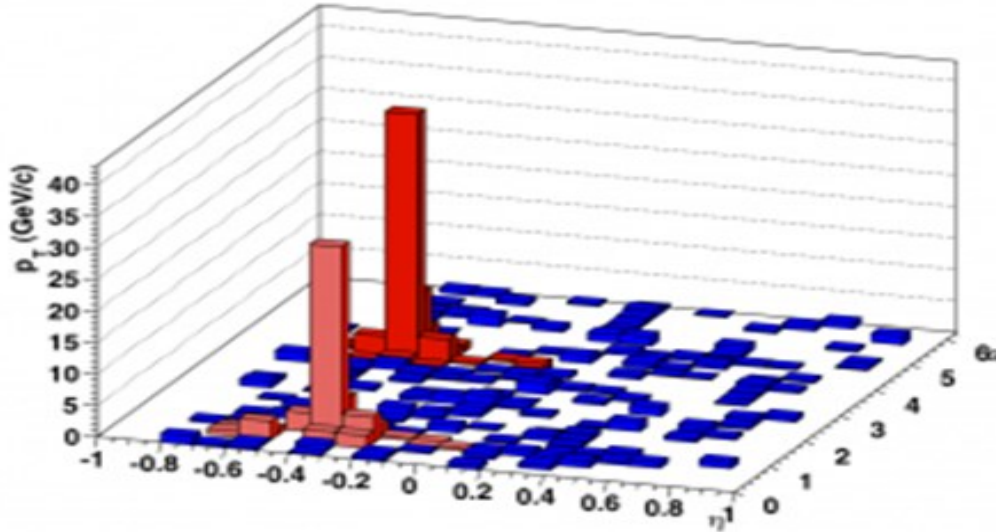
a



Alçak enerjide J/ψ sayısı azalırken yüksek enerjilerde artıyor.

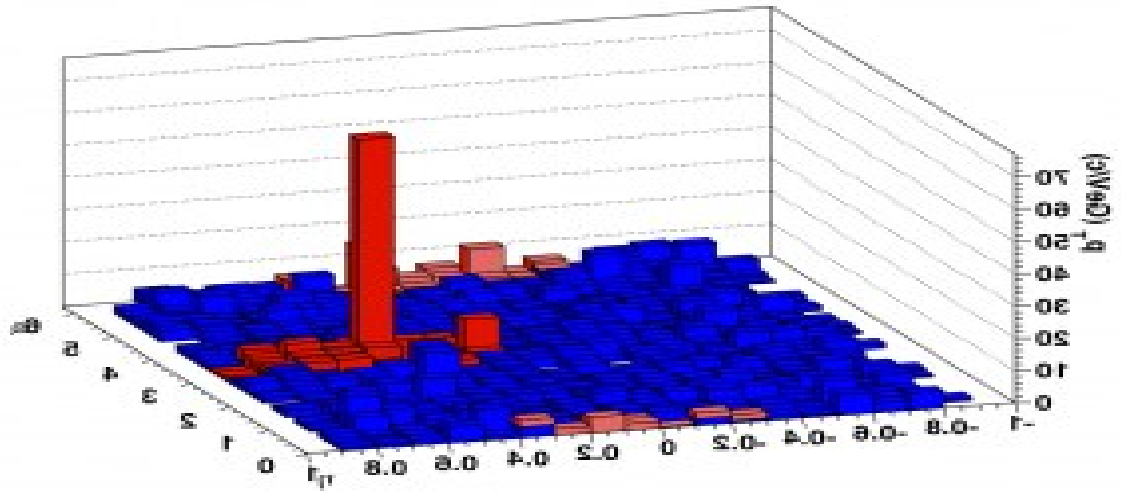
Aranan bir özellik ise oluşan kuark gluon plazmasının akış özellikleridir. 2005 yılında RHIC'teki altın-altın iyonları çarpışmalarında ortaya çıkan plazmanın bir gaz gibi değil de bir sıvı gibi davrandığını ortaya koymuştur. Daha yüksek enerjilerde bu davranış sürecelecek midir, yoksa gaz gibi mi davranacaktır. Kuantum renk dinamiği, örgü veya sicim hesapları kuark gluon plazmasının viskosluğun sıfır olduğu üstün akışkanlı bir sıvı olacağını, birlikte davranacaklarını söylemektedir. Bu geçiş ani olan bir faz değişimidir. Buradakinin aksine şimdiye dek üstün akışkan olarak bilinen sıvı helyum ve Bose-Einstein yoğunlaşmasına uğramış madde sadece mutlak sıfıra yakın sıcaklıklarda olabilmektedir.

CERN'deki deneylerde momentum korunumu sağlamak için aksi yönde giden iki jetten birinin plazma içini girip kaybolduğu görülmüştür. Şu anda aranan kaybolan bu jet yerine oluşacak bir foton veya Z parçacığının bu olayda yer almasıdır. Foton ve Z plazmadan etkilenmezler. Foton başka bir yerden gelebilir. Ancak Z ancak burada oluşmuş olabilir.



<http://www.quantumdiaries.org/2011/11/15/partonic-matter-and-perfect-fluidity-it%E2%80%99s-heavy-ions-time/>

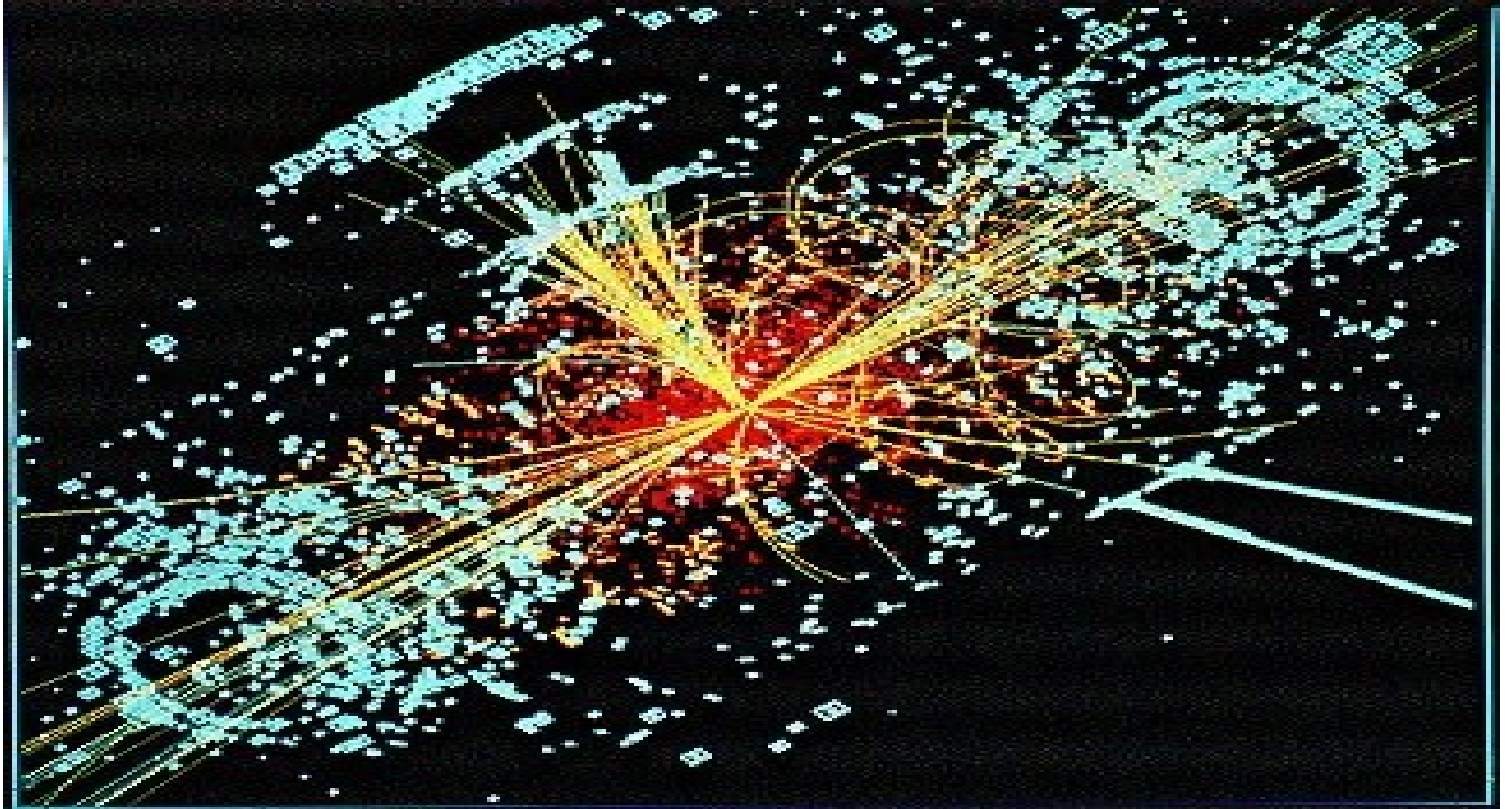
Görüldüğü gibi karşısı boş olunca momentum korumak için iki tane jet oluyor. Karşıda plazma varsa, enerji ve momentumunu oraya veriyor. Geriye doğru tek jet olabiliyor.



Aşağıda ALICE’te olan bir çarpışma verilmektedir. Görüldüğü gibi her şey çok karışıktır. Bu kargaşadan anlamlı bilgi çıkartmak büyük uzmanlık gerektirmektedir.



İki proton çarpışmasını gösteren aşağıdaki resmi iki ağır iyonun çarpışmasını gösteren yukarıdaki resimle karşılaştırırsanız ALICE deneyinde sonuç almanın ne denli zor olduğunu anlayabilirsiniz.

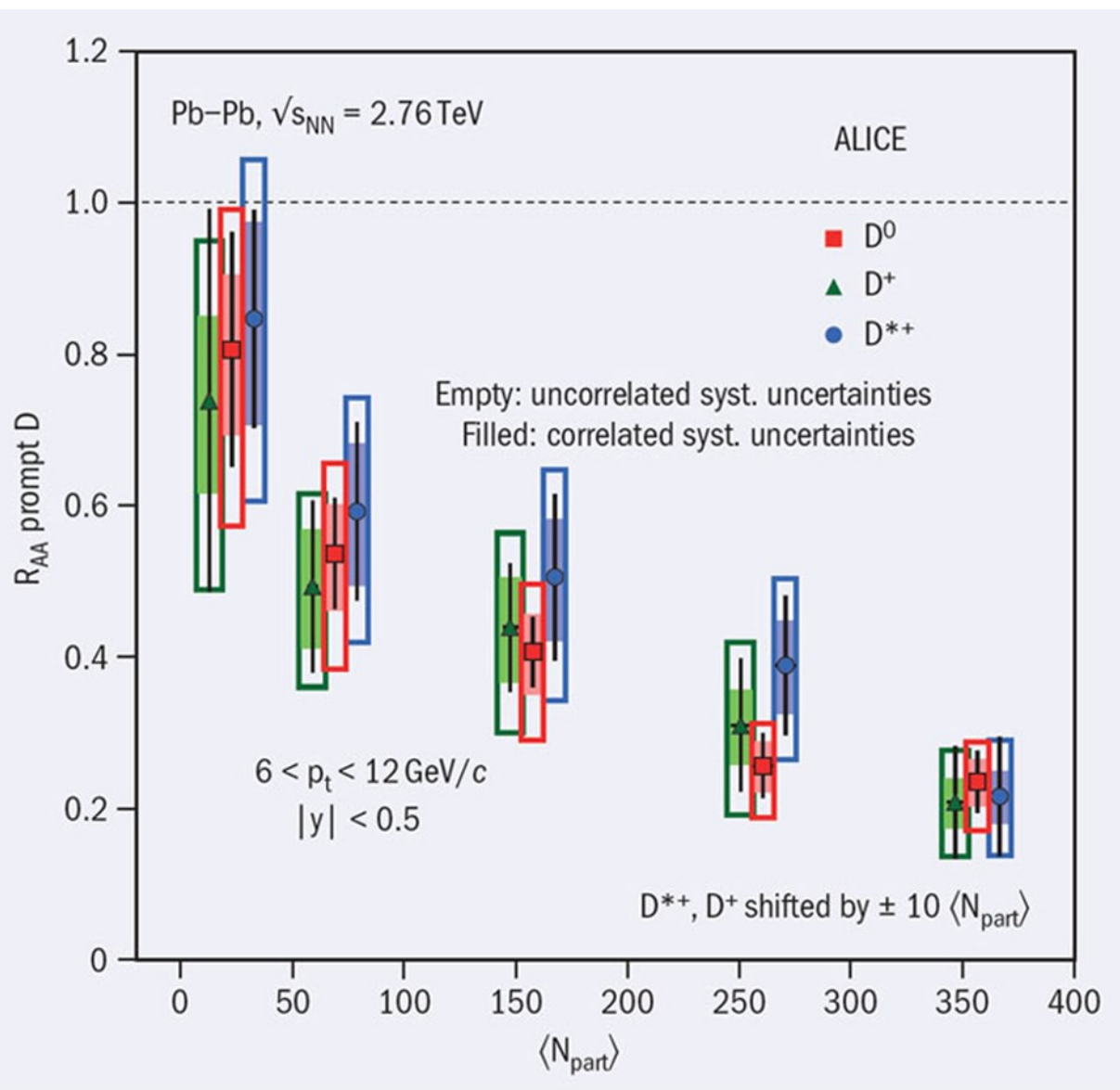


Çarpışmalardan kuark gluon plazması olduğu gibi kütleleri 1,5 ve 5 GeV/c² olan tılsımlı ve aşağı gibi ağır kuarkların oluşturduğu bağlı durumlar da oluşur. Bunlar hafif alt, üst, tuhaf kuarkların oluşturduğu bağlı durumlar gibi bu sıcaklıklarda “erimezler”. Kuark gluon plazması içinde ilerlerler. Bunu yaparken de enerji kaybederler. İyon-iyon nükleon başına çarpışmalarında oluşan yeni parçacıkların, proton-proton çarpışmalarındakine oranına R_{AA} denir. Enerji kayıpları esnek ve esnek olmayan çarpışmalarda olur. Bunlar nükleon-nükleon çarpışmalarındaki parçacık oluşumu ile iyon-iyon çarpışmalarındaki parçacık oluşumunun oranını etkiler. Kuramsal hesaplamalara göre bu oran $R_{AA}(\pi) < R_{AA}(D) < R_{AA}(B)$ olmalıdır. Burada π sadece alt ve üst kuarkları, D, bunların biri yerine bir tılsımlı kuarkı, B ise tılsımlı yerine bir aşağı kuarkı içerir. Bu değişik sondaların enerji kaybındaki değişiklik partonların enerji kaybının renk yükü ve kütlelerine nasıl bağlı olduğunu gösterir. Bu davranış kuantum renk dinamiği tarafından öngörüldüğünden, deneysel olarak gerçeklenmeleri yeğin etkileşmelerin olduğu ortamı anlamak için çok önemli bir adımdır.

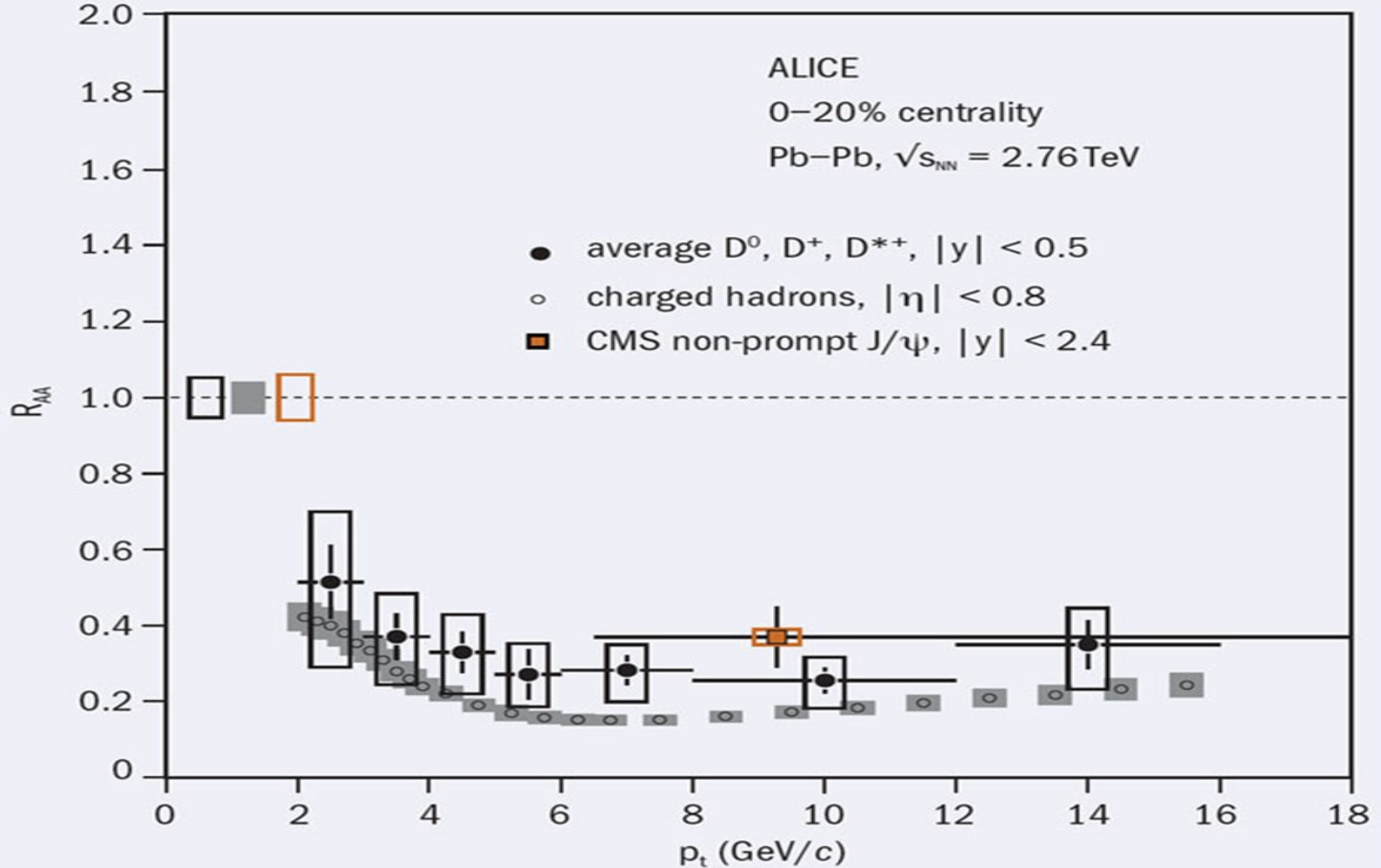
RHIC'teki deneyler dikine momentum $p_T > 5$ GeV/c olduğunda altın çekirdekleri içindeki hafif çeşnili kuarklar için 4-5 çarpanlı azalmalar gösterdi. ALICE deneyinde D^0 , D^+ ve D^{*+} gibi tılsımlı kuark taşıyan mezonlar yaratıldı. Bu tür mezonların yaratıldığını $D^0 \rightarrow K^-\pi^+$, $D^+ \rightarrow K^-\pi^+\pi^+$ ve $D^{*+} \rightarrow D^0\pi^+$, hemen sonra da $D^0 \rightarrow K^-\pi^+$ bozunmalarını görerek anlıyoruz. Bunların çekirdek değişme çarpanları R_{AA} , pp çarpışmaları için 7 TeV kütle enerjisi etkin tesir kesidinden, tedirgeme yöntemi ile yapılan kuantum renk dinamiği hesaplarından ölçeklenerek bulunuyor.

ALICE kollaborasyonu 2012, JHEP 1201 128, arXiv:1111.1553.

Aşağıdaki şekilde dikine momentum $6 < p_T < 12$ GeV/c iken çekirdek fark çarpanının üç cins D mezonu için çarpışmanın merkezileşmesinin fonksiyonu olarak değişmesi görülüyor. Çarpışmadan etkilenen nökleon sayısı arttıkça azalma artıyor, R_{AA} azalıyor. Kafa kafaya çarpışmalarda bu dört katına ulaşıyor.



Şekil 2’de üç cins D mezonunun ortalama R_{AA} çarpanının en merkezi olan çarpışmalar için dikine momentumun fonksiyonu olarak çizilmesini görüyoruz. ALICE kollaborasyonu, 2012 arXiv:1203.2160



Enerji kaybının renk yükü ve parton kütesine bağılılıkları incelemek için ALICE'in ölçtüğü yüklü hadronların çekirdek değişme çarpanı ile CMS deneyinin $p_T > 6,5$ GeV/c için ölçtüğü B'lerin bozunmasından oluşan J/ψ mezonları için olan çarpan karşılaştırılmıştır.

CMS kollabosyonu2012 arXiv:1201.5069.

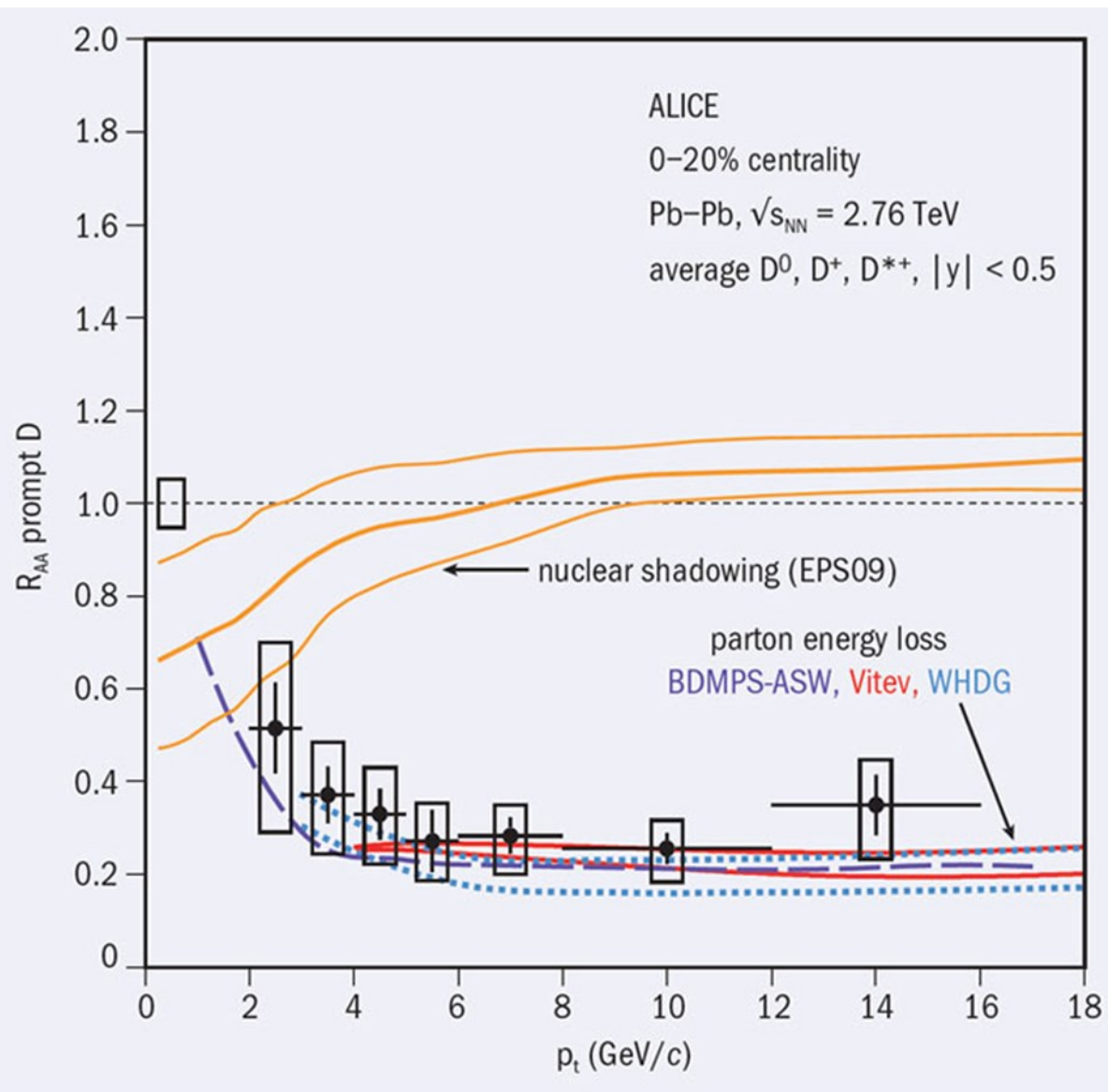
Hadron değişme çarpanına büyük katkı hafif çeşnilerden gelmekte ve p_T , 5 GeV/c civarında iken p için olanla örtüşmektedir. D mezonları için olan çarpan yüklü hadronlarınkine yakındır. Belirsizlikler dikkate alındığında $RAA(D) > RAA(yük\l\ddot{u})$ sonucu çıkmaktadır. B mezonlarından gelen J/ψ 'nin azalması yüklü hadronlarınkilerden belirgen olarak azdır. Ancak D ile B mezonlarının kıyaslamasını tam olarak yapabilmek için daha fazla veri gerekmektedir.

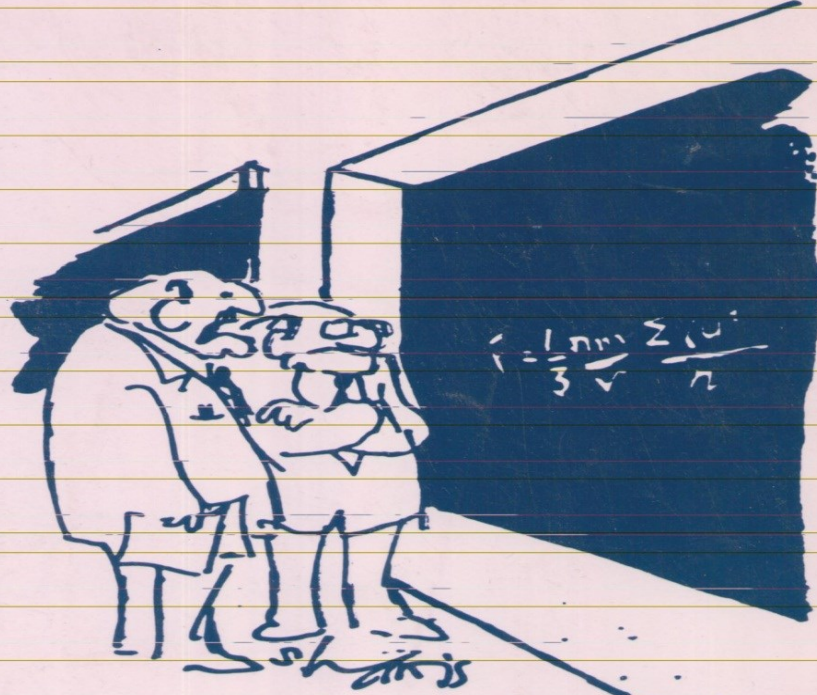
Sıcak ve hapis olamayan bir ortamda olmanın yol açtığı son etkiler yanında, çekirdek değişme çarpanı üzerindeki nükleonlar yerine çekirdeklerin çarpışmasının doğurduğu ilk durum etkileri de dikkate alınmalıdır. Bundan dolayı oluşan çekirdeklerin içindeki nükleonların parton dağılım fonksiyonlarındaki değişiklik sert çarpışma olasılıklarını değiştirip aralarında ağır kuarklarında olduğu çok enerjili partonlar oluşturabilir. Bunun sonucu olarak tılsımlı mezon oluşturan BHÇ enerjilerinde alçak momentumlarda D mezon oluşumunu azaltan çekirdek gölgelenmesi (nuclear shadowing) olur. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi tedirgeme yöntemi kullanılarak yapılan bir kuantum renk dinamiği hesabı ile birleştirilmiş parton değişme fonksiyonların fenomenolojik bir parametrizasyonu R_{AA} üzerindeki gölgelenmeden dolayı olacak etkiyi, $p_T > 6 \text{ GeV}/c$. için artı/eksi %15 ile sınırlamaktadır. Bunun sonucunda yüksek p_T 'de görülen azalma büyük ölçüde ortamda tılsımlı kuarkların enerji kaybından dolayı olmaktadır.

Özet olarak parton enerji kaybı modellerinin yüksek momentumlu tılsımlı mezonların partonlarının enerji kaybının önerilen kurumsal modellerce iyi bir biçimde betimlediği ortaya çıkmaktadır. Şekil 3'te deneysel veriler ile önerilen bazı modellerin ağır ve hafif çeşnili parçacıkların enerji azalmaları karşılaştırılmaktadır. Modellerin hangisinin doğru olduğunun anlaşılması için daha yüksek momentumda, değişik çarpışma merkeziliklerinde, özellikle aşağı hadronları içeren çarpışmaların incelenmesi gerekmektedir. Bu sonunda BHÇ'da oluşan sıcak kuark gluon plazmasının enerjisi üzerine bir takım kısıtlamalar getirecektir.

Sonuçta, $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV kütle merkezi enerjisi olan Pb-Pb çarpışmalarında ilk ALICE verileri tılsımlı kuarkların ortamda büyük bir enerji kaybına uğradıklarını ortaya koymaktadır. $R_{AA}(D) > R_{AA}(\text{yükü})$ doğru olabilir. Ancak deneydeki belirsizlikler bunu şu anda kesin olarak söylememize engel oluyor. 2011 yılında alınan Pb-Pb çarpışma kayıtlarının tamamının incelenmesi ile durum gelecekte daha iyi anlaşılacaktır. Şu anda yapılmakta olan proton-kurşun çarpışmaları ilk durum etkilerinin ne olduğuna ışık tutacak , bu da, özellikle alçak momentum bölgesinde önemli bir katkıda bulunacaktır.

Andrea Dainese, INFN Padova, ve Francesco Prino, INFN Torino, ALICE kollaborasyonu adına.





"What's most depressing is the realization that everything
we believe will be disproved in a few years."

Karikatürdeki bilim insanları aralarında konuşuyorlar.

Biri ötekine, ne yazık ki birkaç yıl sonra burada
gösterdiklerimizin tümüyle yanlış olduğunu
kanıtlamak için çaba harcalayacağız, diyor.

Yukarıdaki resmi aklımızda tutarak gene de şimdiki durumu özetlersek: CERN’de Higgs bulundu gibi. İstenilen Higgs mi bilmiyoruz. Belki tüm özelliklerini anlamak için BHÇ aleti bile yetmeyecek. Şimdilik süpersimetri, ek boyutlar, karanlık madde görülmedi. Ağır iyon çarpışmaları kuantum renk dinamiği hesapları ile uyum içinde görülüyor.

Bunun insanlığa faydası nedir sorusu akla gelebilir. Bilindiği gibi savaşlar teknolojinin ilerlemesini sağlarlar. Herkes, tüm beyinler düşmanı alt etmek için yeni yollar ararlar. Radar, mühendisliğin her dalında kullanılan kontrol kuramı, nükleer enerji savaşın getirdiği ilk akla gelen icatlardır. CERN’de de, doğayı anlamak için bir savaş veriliyor. Binlerce beyin orada toplanmışlar. Sırf bu deneyleri yapabilmek için bilgisayar, elektronik , hızlandırıcı, süper iletken teknolojileri geliştiriyorlar ve geliştirilmesi sürdürüyorlar. Bu yeni icatlar sonradan tıpta ve mühendisliğin tüm dallarında kullanılabilecektir.

Daha önceki parçacık deneylerinde kullanılan hızlandırıcılar ve algılama teknikleri bugün kanser tedavisinde kullanılıyor. Sırf verileri aktarmak için bulunan web sistemini herkes kullanıyor. Kim bilir, Higgs'i ve sonrasını bulmak için geliştirilen teknoloji sonradan nerede kullanılacak. Sırf hatırlatmak için anayım. Yaklaşık 200 yıl önce Faraday, elektrik endüksiyonu, 150 yıl önce Maxwell elektromanyetik dalgaları kuramsal olarak bulduğunda “ bu ne işe yarar”, demişlerdi. Birinciden elektrik motor ve üreteçleri, ikinciden radyo, sonradan televizyon, ve tüm iletişim çıktı.

ÇOK VAKTİNİZİ ALDIM.

DİNİ EDİĞİNİZ İÇİN TESEKKÜR EDERİM