125 GeV Kütleli Yeni bir Parçacığın Gözlenmesi

CMS Deneyi, CERN

4 Temmuz 2012

Özet

Bugün, CERN'deki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'ndaki (BHÇ) CMS deneyi araştırmacıları, CERN'de ve Melbourne'daki "ICHEP 2012" konferansında[1] düzenlenen ortak bir seminerde, Haziran 2012 tarihine kadar elde edilen veriler ile standart model (SM) Higgs bozonunun aranmasında en son ulaşılan sonuçları sundular.

CMS yaklaşık 125 GeV[2] kütlesinde, beklenen fon olaylarının beş standart sapma (5 sigma)[3] kadar üzerinde olay fazlalığı gözlemektedir. Beklenen fon olaylarının gözlenen bu veya daha büyük bir fazlalığı tesadüfen oluşturma olasılığı yaklaşık üç milyonda birdir. En kuvvetli kanıt kütle çözünürlüğü en iyi olan iki bozunum şeklinde gözlenmektedir; ilki iki fotona bozunma şekli, ikincisi ise iki cift yüklü leptona bozunma (elektronlar veya müonlar) şeklidir. Bu fazlalığı, kütlesi 125 GeV civarında olan, daha önce gözlenmemiş bir parçacığın üretilmesi olarak yorumluyoruz..

CMS verileri SM Higgs bozonunun 110-122.5 GeV ve 127-600 GeV aralıklarında bulunmasını %95 güven aralığı [4] ile dışlamaktadır – daha düşük kütleler CERN'deki LEP çarpıştırıcısında aynı güven aralığı ile zaten dışlanmıştır.

Değişik arama kanallarında bulunan sonuçlar, istatistiksel ve sistematik belirsizlik sınırları içinde, SM Higgs bozonu için olan beklentilerle uyum içindedir. Bununla birlikte, bu yeni parçacığın SM Higgs bozonunun bütün özelliklerine sahip olup olmadığına veya bazı özelliklerin uyuşmayıp standart modelin ötesinde yeni fiziğe işaret edip etmediğine karar vermek için daha fazla veri gerekmektedir.

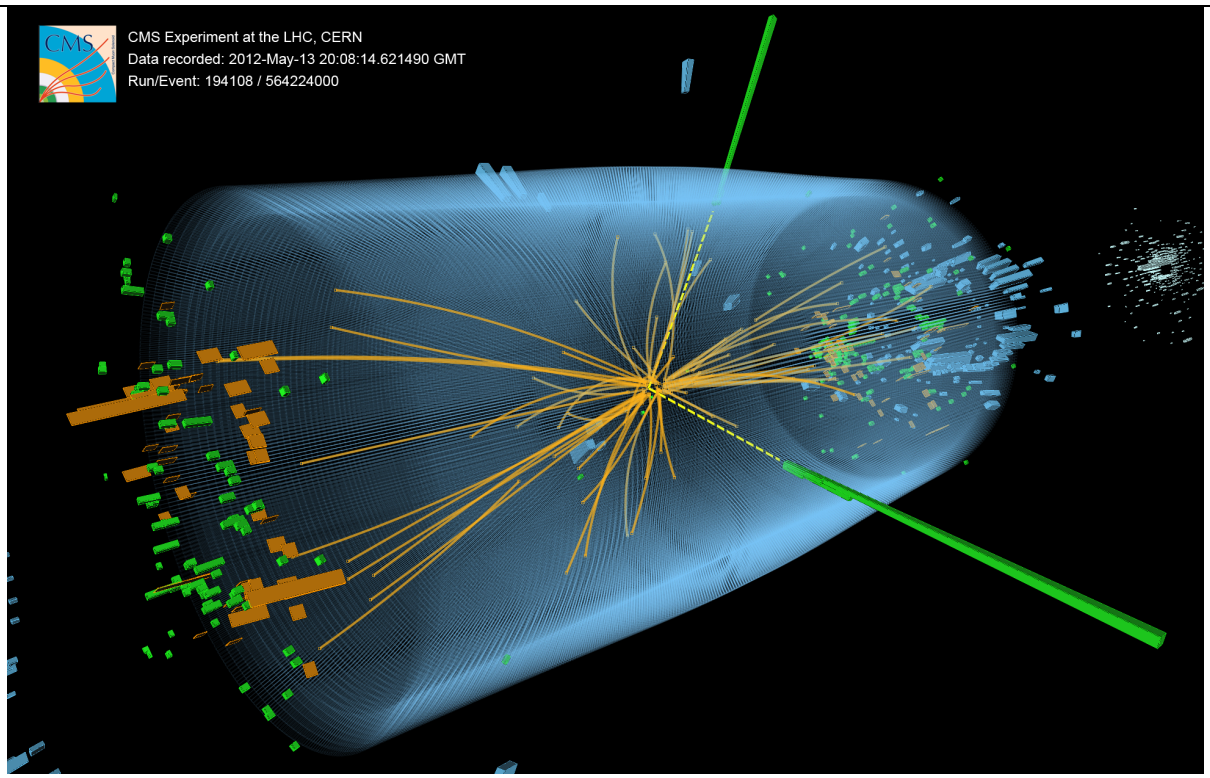
BHÇ inanılmaz bir hızla yeni veriler sağlamaya devam etmektedir. 2012'nin sonuna kadar CMS şu andaki toplam verilerini üç katının üstüne çıkarmayı ümit etmektedir. Bu veriler, CMS'nin bu yeni gözlenen parçacığın doğasını daha iyi açıklığa kavuşturmasını sağlayacaktır. Bunlar aynı zamanda CMS'nin daha pek çok yeni fizik olaylarını arayıp bulmada ulaşacağı kapsamı genişletecektir.

CMS Arama Stratejisi

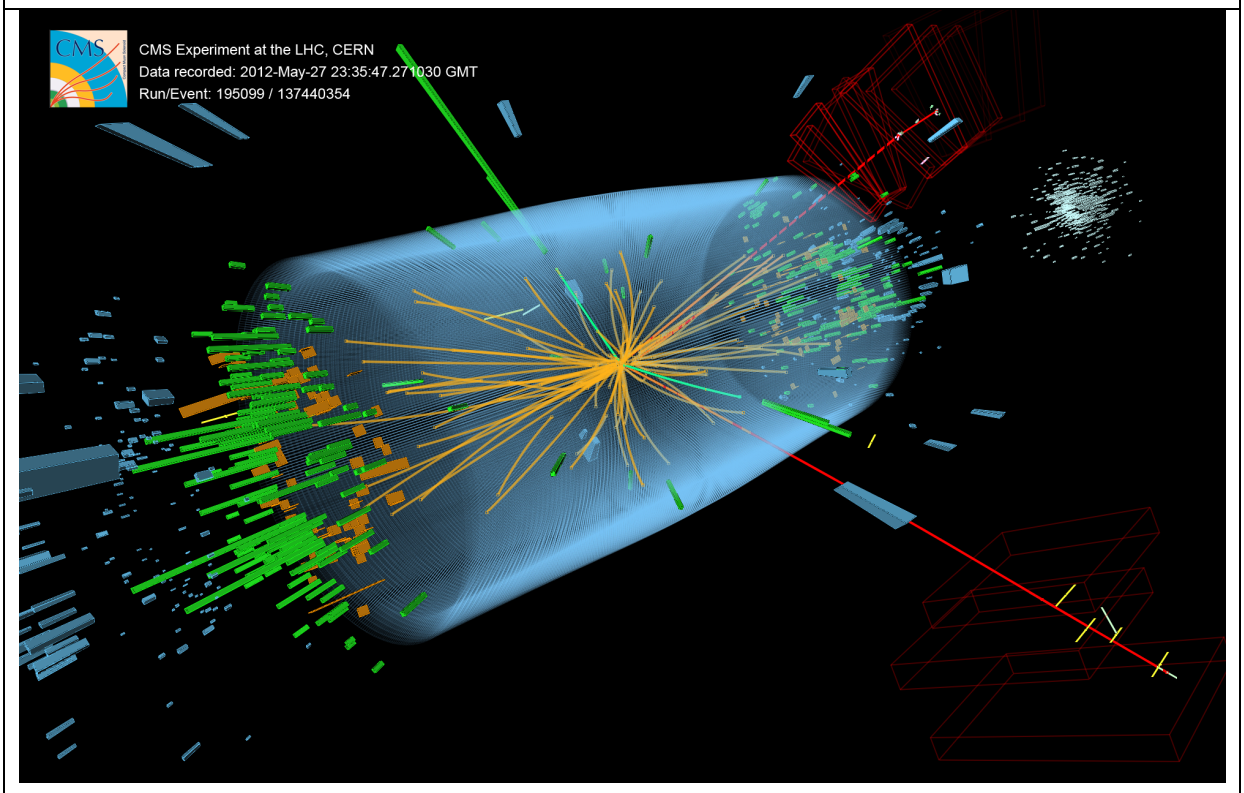
CMS proton-proton çarpışmalarında 2011'in tümünde ve 2012'de 18 Hazirana kadar toplanan verilerin tümünü çözümlemiştir. Bu veriler 2011'de 7 TeV'lik kütle-merkezi enerjisinde 5 fb^{-1}'lık ve 2012'de 8 TeV'de 5.3 fb^{-1}'lık toplam parçacık demetleri etkin yoğunluğuna [5] karşılık gelmektedir.

Standart model, Higgs bozonunun parçalanmadan veya iyi bilinen başka parçacıklara "bozunmadan" önce sadece çok kısa bir süre için varolduğunu öngörmektedir. CMS beş ana bozunum kanalını incelemiştir. Bunlardan üç kanal, bozunma sonucunda bozonik parçacık çiftlerinin ($\gamma\gamma$, ZZ veya WW) ve iki kanal da fermiyonik parçacık çiftlerinin (bb veya $\tau\tau$) çıktığı kanallardır, burada γ, fotonu; Z ve W, zayıf etkileşmenin kuvvet taşıyıcılarını; b, b-kuarkını ve τ da tau leptonunu göstermektedir. $\gamma\gamma$, ZZ ve WW kanalları 125 GeV civarında Higgs aranmasına kendi aralarında eşit derecede ve bb ve $\tau\tau$ kanallarından daha fazla duyarlıdır.

$\gamma\gamma$ and ZZ kanalları, yeni parçacığın kütlesinin duyarlıkla ölçülmesine izin verdikleri için özellikle önemlidir. $\gamma\gamma$ kanalında kütle, iki yüksek-enerjili fotonun CMS kristal elektromanyetik kalorimetresinde (ECAL, Şekil 1) ölçülen enerjileri ve yönlerinden belirlenmektedir. ZZ kanalında kütle, iki Z'ye bozunumundan, onların da iki çift elektrona, veya iki çift müona, veya bir çift elektron ve bir çift müona bozunumundan (Şekil 2) belirlenmektedir. Bunlar ECAL'de, iç iz ve müon dedektörlerinde belirlenmektedir.



Şekil 1. CMS dedektörünün 2012'deki 8 TeV'lik bir proton-proton kütle merkezi enerjisinde kaydettiği bir olay. Olay, SM Higgs bozonunun bir çift fotona (kesikli sarı çizgiler ve yeşil kuleler) bozunumundan beklenen karakteristikleri göstermektedir. Olaya, bilinen standart model fon süreçlerinden birisi de yol açabilir.



Şekil 2. CMS detektörünün 2012'deki 8 TeV'lik bir proton-proton kütle merkezi enerjisinde kaydettiği bir olay. Olay, SM Higgs bozonunun bir çift Z bozonuna bozunumundan beklenen

karakteristikleri göstermektedir. Bunlardan birisi daha sonra bir çift elektrona (yeşil çizgiler ve yeşil kuleler) ve diğer Z bozonu da bir çift müona (kırmızı çizgiler) bozunmaktadır. Olaya, bilinen standart model fon süreçlerinden birisi de yol açabilir

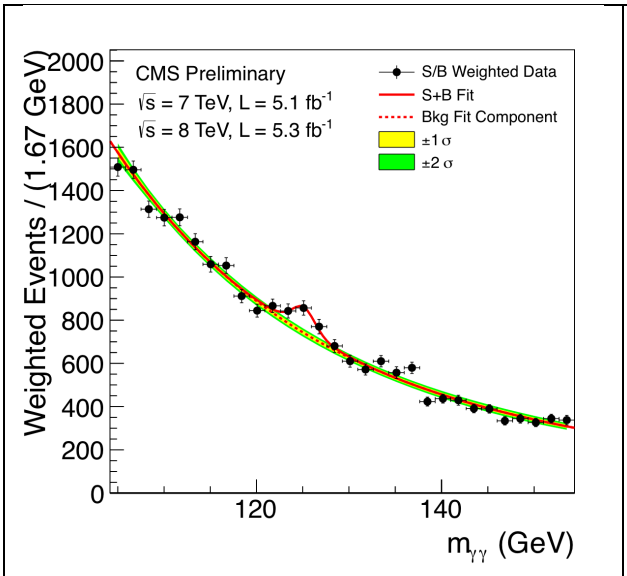
WW kanalı daha karmaşıktır. Her bir W, bir elektron ve bir nötrinoya veya bir müon ve bir nötrinoya bozunumundan belirlenir. Nötrinolar CMS dedektöründen algılanmadan geçerler, dolayısı ile WW kanalındaki SM Higgs bozonu, kendisini kütle dağılımındaki dar bir tepe yerine geniş bir fazlalık olarak belli eder. bb kanalı standart model süreçlerinden gelen geniş bir fona sahiptir, dolayısı ile çözümlemede Higgs bozonunun daha sonra elektron(lar)a veya müon(lar)a bozunan bir W veya Z ile birlikte oluştuğu olaylar aranmaktadır. ττ kanalı, τ leptonunun elektronlara, müonlara ve hadronlara bozunumunu gözleyerek belirlenir.

CMS Sonuçlarının özeti

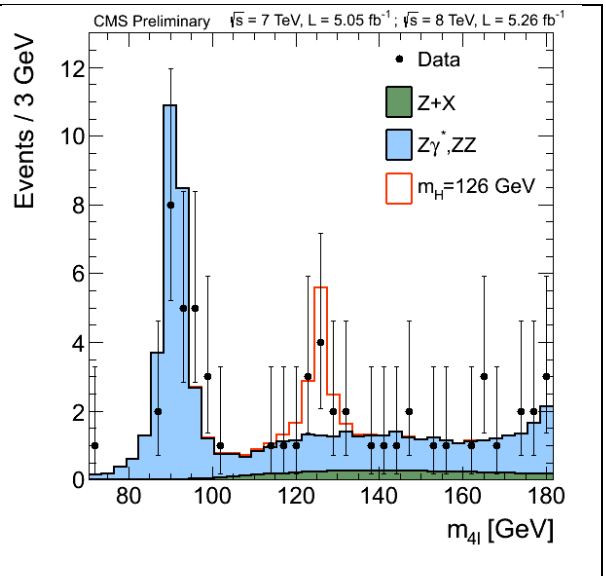
CMS veri örnekleminin, eğer SM Higgs yoksa 110–600 GeV kütle aralığını %95'lik güven aralığı ile tamamen dışlayacak duyarlığa sahip olması beklenmektedir. Gerçekten de CMS verileri SM Higgs bozonunun varlığını 110–122.5 GeV ve 127–600 GeV'lik iki geniş kütle aralığında %95'lik güven aralığı ile dışlamaktadır.

121.5–127 GeV aralığı, çözümlemesi yapılan beş kanalın üçünde olay fazlalıkları gördüğümüz için dışlanamamaktadır:

- **γγ kanalı**: γγ kütle dağılımı Şekil 3'te gösterilmektedir. 125 GeV kütlesi yakınında fonun üzerinde 4.1 sigma'lık bir fazlalık vardır. İki fotona bozunma şeklinin gözlenmesi yeni parçacığın bir fermiyon değil bir bozon olduğunu ve spin değerinin bir olmadığını göstermektedir.
- **ZZ kanalı**: Şekil 4 dört lepton (iki çift elektron, veya iki çift müon, veya elektron çifti ile müon çifti) için kütle dağılımını göstermektedir. Bozunum açısı karakteristikleri de hesaba katılırsa 125 GeV kütlesi, yakınında fonun üzerinde 3.2 sigmalık bir fazlalık gözlenmektedir.
- **WW kanalı**: kütle dağılımında 1.5 sigmalık geniş bir fazlalık vardır.
- **bb ve ττ kanallarında**: bir fazlalık gözlenmemiştir.



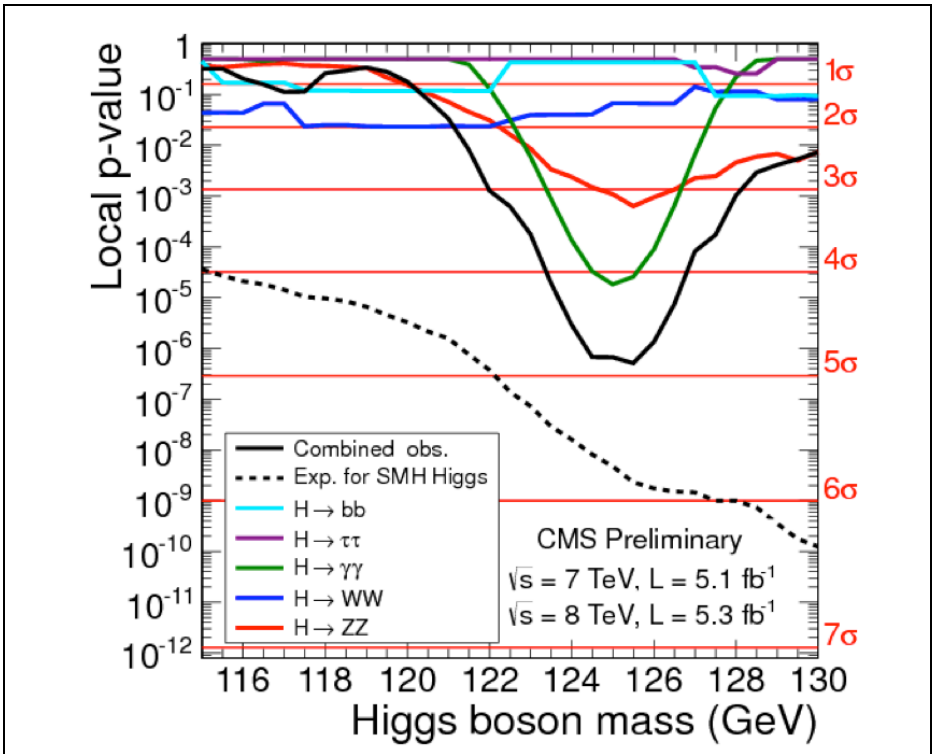
Şekil 3. 2011 ve 2012 yılı CMS verilerinde iki fotonun (γγ) kütle dağılımı (hata çubukları içeren



Şekil 4.Dört lepton kanalında 4e, 4 μ ve 2e2 μ kütle dağılımı. Noktalar ile veriler, mavi taranmış

siyah noktalar). Veriler her alt-olay kategorisinin sinyal–fon oranları ağırlığı ile çizilmistir. Kırmızı düzgün hat sinyal ve fon hipotezine en uyumlu fonksiyonu göstermektedir. Kesikli cizgi ise sadece fon fonksiyonunu göstermektedir.	histogram ile fon dağılımı, boş histogram ile ise beklenen sinyal dağılımı gösterilmiştir. Değişik kanallara ait dağılımlar üst üste bindirilerek çizilmiştir. Veri noktaları 7 GeV ve 8 GeV kütle merkezinde alınmış verilerin toplamını göstermektedir.

Beş kanalın tümüne yapılan bir uyumlamadan elde edilen sinyalin (Şekil 5) istatistiksel önemi fonun 4.9 sigma üzerindedir. İki en duyarlı ve en yüksek çözünürlüklü kanala (γγ ve ZZ) uygulanan ortak uyumlama 5.0 sigmalık bir istatistiksel önem vermektedir. Fonun kendi başına bu miktarda veya daha fazla bir dalgalanma göstermesinin olasılığı üç milyonda bir civarınd



Şekil 5. Ele alınan beş kanal için, kütlenin fonksiyonu olarak, sadece-fon hipotezinin, CMS verilerinde görülenle aynı veya daha fazla olay vermesi olasılığı (p-değeri). Siyah grafik beş kanalın ortak p- değerini göstermektedir.

Bozunum kanallarının beklenen bağıl üretimleri hakkında yapılan varsayımlardan bağımsız olarak yeni parçacığın kütlesi, 125.3+/-0.6 GeV olarak belirlenmiştir. Bu yeni parçacığın oluşum tesir kesiti ($\sigma_{VERİ}$), SM Higgs bozonunun öngörülen tesir kesiti (σ_{SM}) ile tutarlıdır: $\sigma_{VERİ}/\sigma_{SM}$ = 0.80 +/- 0.22.

Dedektör performansı, olay seçimi, fon belirleme ve başka kaynaklardan gelebilecek sistematik ve istatistiksel belirsizlikler ile ilgili sayısız ayrıntıyı anlamak için çok özen gösterilmiştir. 2011 analizi [6] 125 GeV civarında bir olay fazlalığı göstermişti. Dolayısıyla, 2012 verileri için seçim kriterlerinin kararlaştırılmasında ön yargılı davranıp yapay olarak bir fazlalık yaratmaktan kaçınmak için, 2012 veri çözümlemesi "gözü kapalı" [7] olarak yapılmıştır. Bunun anlamı, çözümleme kriterleri tam olarak incelenip onaylanıncaya kadar ilgilenilen bölgeye bakılmamasıdır.

Bir genel karşılaştırmalı kontrol için çözümlemeler en az iki bağımsız takım tarafından gerçekleştirilmiştir. Başka bazı özellikler sonuçlara olan güveni pekiştirmektedir:

- 125 GeV civarındaki fazlalık hem 2011 veri örneğinde (7 TeV) hem de 2012 veri örneğinde (8 TeV) görülmektedir;
- Fazlalık, her iki yüksek çözünürlüklü kanalda ($\gamma\gamma$ ve ZZ) aynı kütlede görülmektedir;
- WW ve bb kanallarında görülen fazlalık 125 GeV'deki bir parçacıktan kaynaklanacak fazlalık ile uyumludur;
- Fazlalık, fotonlar, elektronlar, müonlar ve hadronlar içeren çeşitli bozunum şekillerinde görülmektedir

Bugün sunulan ön sonuçların irdelenmesi yaz sonuna doğru bitirilip yayına sunulacaktır.

Gelecek planları

125 GeV civarında gözlenen yeni parçacık sınırlı istatistiksel hassasiyet içinde SM Higgs bozonu ile uyumludur. Fakat, değişik kanallardaki ($\gamma\gamma$, ZZ, WW, bb ve $\tau\tau$) bozunum hızlarını ve sonra da spin ve parite gibi özelliklerini ölçüp bu parçacığın gerçekten de SM Higgs bozonu mu, yoksa standart modelin ötesindeki yeni fiziğin bir sonucu mu olduğundan emin olmak için daha fazla veri gereklidir.

BHÇ çok iyi bir performans göstermeye devam etmektedir. 2012'nin sonuna kadar, CMS toplam veri örneğini üç katının üstüne çıkarmayı, dolayısıyla bu yeni parçacığın doğasını daha derin bir biçimde araştırmayı ummaktadır. Bu parçacık gerçekten SM Higgs bozonu ise, özellikleri ve bunların standart modeldeki yansımaları ayrıntılı bir biçimde çalışılacaktır. Eğer SM Higgs bozonu değilse, CMS onun işaret ettiği ve BHÇ'de gözlenebilecek ek parçacıklar da içerebilecek olan yeni fiziğin doğasını inceleyecektir. Her iki durumda da BHÇ'nin gelecekteki daha yüksek demet enerjili ve parçacık yoğunluklu çalışmalarında gözlenebilecek başka yeni parçacıkları veya kuvvetleri arama çalışmaları sürecektir..

CMS hakkında

CMS hakkında daha geniş bilgiler için: http://cern.ch/cms adresinden ulaşabilir, veya ek bilgi icin cms.outreach@cern.ch e-posta adresi ile ilişkiye geçebilirsiniz.

CMS deneyi, BHÇ'de yeni fiziği araştırmak üzere kurulmuş olan genel amaçlı iki deneyden birisidir. BHÇ'de gerçeklestirilen, proton-proton ve ağır-iyon çarpışmalarında ortaya çıkacak birçok parçacığı veya yapıyı gözlemleyebilecek şekilde planlanmıştır. "Evren gerçekten nelerden oluşmaktadır?", "Bunlar birbirleri ile nasıl etkileşmektedir?" ve "Herşeye kütlesini ne vermektedir?" gibi temel soruları cevaplamaya yardım edecektir. Ayrıca daha önce bilinen parçacıkların da özelliklerini daha önce ulaşılmamış hassasiyetle ölçecektir. Bunları yaparken bir taraftan da, eğer varsa, önceden öngörülmemiş yeni oluşumları gözlemeye çalışacaktır. Bütün bu araştırmalar Evreni daha iyi anlamamızı sağlamanın ötesinde, geçmişte örnekleri olduğu gibi, yaşadığımız dünyayı değiştirecek yeni teknolojilerin doğmasını da ateşleyecektir.

CMS deneyinin kavramsal tasarım planları 1992 yılına kadar geri gider. Devasa deney aletinin (15 m çapında, yaklaşık 29 m uzunluğunda ve 14000 ton ağırlığında) yapımı şimdiye kadar oluşturulan en büyük uluslararası bilimsel ortaklık tarafından: dünyanın çeşitli yerlerindeki 41 ülkenin 179 üniversite ve araştırma kurumundan 3275 fizikçi (1535'i öğrenci) ve 790 mühendis ve teknisyen tarafından. 16 yılda tamamlanmıştır.

Dipnotlar

[1] ICHEP Melbourne, Avustralya'da 4-11 Temmuz 2012'de toplanacak 36. Uluslararası Yüksek Enerji Fiziği Konferansını simgelemektedir. Sonuçlar CERN'de canlı olarak ve ICHEP'te de eş-zamanlı video bağlantısı ile birlikte açıklanacaktır:.

[2] Elektron volt (eV) bir enerji birimidir. GeV, 1,000,000,000 eV'tur. Kütle ve enerjinin çoğu zaman aynı bağlamda kullanıldığı parçacık fiziğinde kütle birimi olarak eV/c^2'yi kullanmak adettendir ($E = mc^2$'den, burada c ışığın boşluktaki hızıdır). Daha yaygın olarak c'nin 1 olarak alındığı (dolayısıyla $E = m$) doğal birimler kullanıldığında eV bir kütle birimi olur.

[3] Standart sapma, eldeki verilerin ortalama değer etrafında nasıl dağıldığının bir ölçümüdür. Verilerin bir hipoteze göre beklenen sonuçtan ne kadar farklı olduğunun bir ölçüsü olarak da kullanılır. Fizikçiler bu değeri 'sigma" birimi cinsinden verirler. Sigma değeri ne kadar büyük ise veri o hipotez ile o kadar uyumsuzdur. Tipik olarak, bir keşif ne kadar beklenmez ise, fizikçiler, ikna olmak için daha büyük sigma sapmaları göstermesini ister.

[4] Güven aralığı, deneme sonuçlarının yüzde kaçının belirli bir aralıkta olmasının beklenebileceğinin bir istatistiksel ölçümüdür. Örneğin, %95 güven aralığı, bir olayın sonucunun denemelerin %95'inde beklentilere uygun olması anlamına gelir.

[5] http://news.stanford.edu/news/2004/july21/femtobarn-721.html

[6] http://cms.web.cern.ch/news/cms-search-standard-model-higgs-boson-lhc-data-2010-and-2011

[7] http://cms.web.cern.ch/news/blinding-and-unblinding-analyses