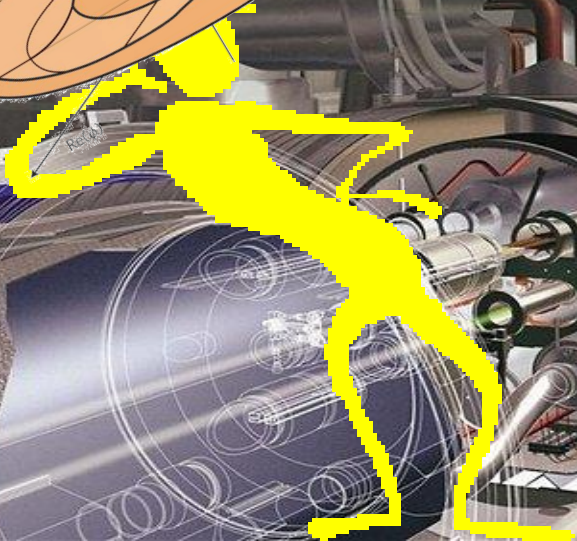
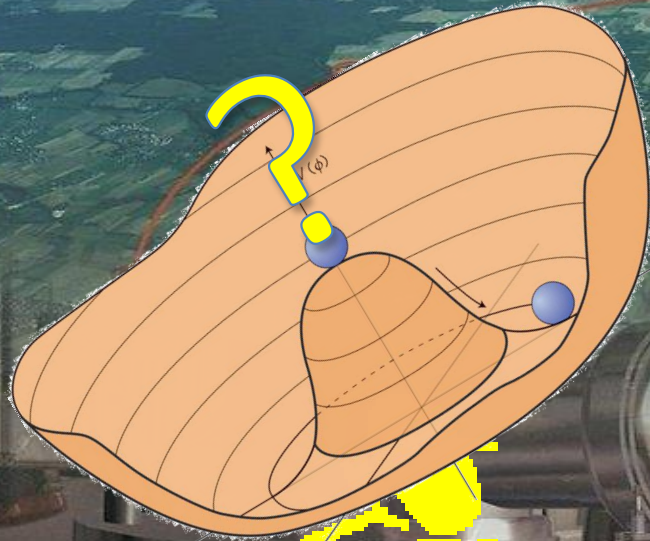




Higgs ve Higgs Buluşu

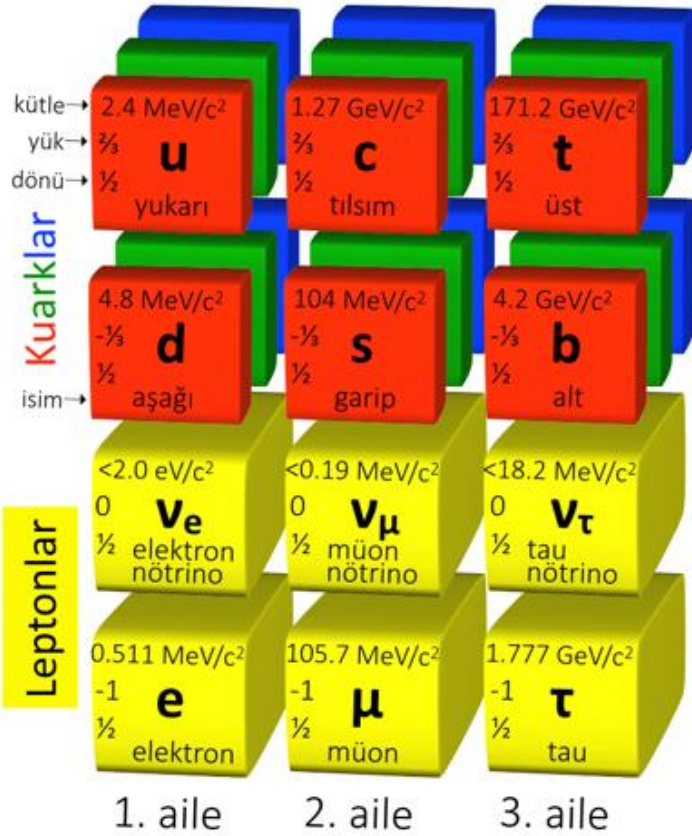
Sezen Sekmen

CERN Türk Öğretmenler Çalıştayı
20 – 24 Temmuz 2015



STANDART MODEL temel parçacıklar ve etkileşimler hakkındaki bütün bilgilerimizi içeren bir kuramlar bütünüdür.

Madde parçacıkları



Etkileşim araçları



- Her kuarktan **3 renk**.
- Her parçacık için bir **karşıparçacık**
- Etkileşimler **kuvvet taşıyıcı parçacıklarla** yönlendirilirler
- Toplamda **60 parçacık** (ayrıca Higgs)

Standart Model **doğrudur**, ancak **eksikleri vardır**.

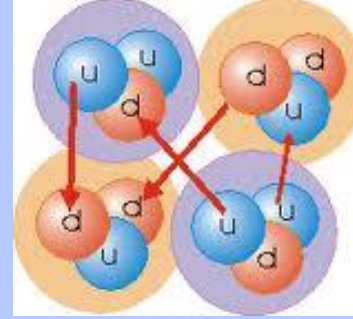
4 KUVVET

Elektromanyetik kuvvet – photon (γ)



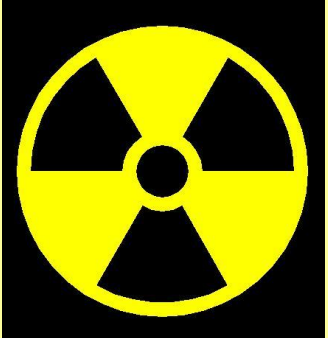
Elektrik, mıknatıslık: atomun içindeki elektronları çekirdeğe bağlar, atomları moleküllere bağlar, tüm kimyasal etkileşimlerden sorumludur, vs.

Güçlü kuvvet – gluon (g)



Kuarkları bağlayıp protonları, nötronları ve diğer parçacıkları yapar. Atomun içindeki proton ve nötronların arasındaki itici kuvveti yenerek çekirdeği bağlar.

Zayıf kuvvet – W, Z bozonları



Radyoaktiviteden sorumludur Ayrıca Güneş ve diğer yıldızların merkezinde olan nükleer tepkimelere sebep verir.

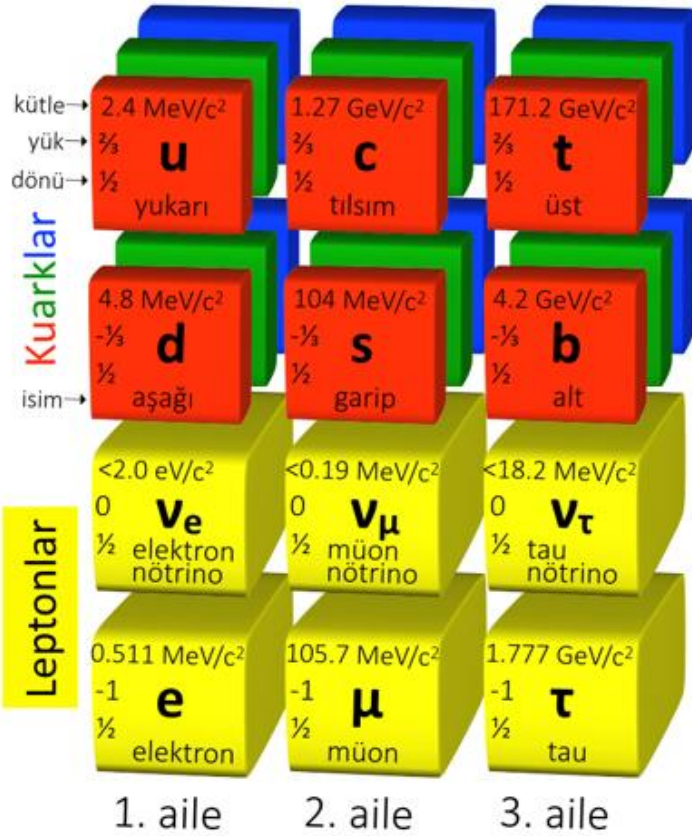
Kütleçekim kuvveti - Graviton



Kütlesi olan tüm maddenin arasında olan çekim kuvveti. Bizi Dünya'ya bağlar, yıldızları ve galaksileri birarada tutar.

Standart Model'de kütle sorunu

Madde parçacıkları



Etkileşim araçları



- Parçacıklara **kütlesini veren** nedir?
- Neden farklı parçacıklar **farklı kütlelere** sahiptirler?

Peki kütle nedir?

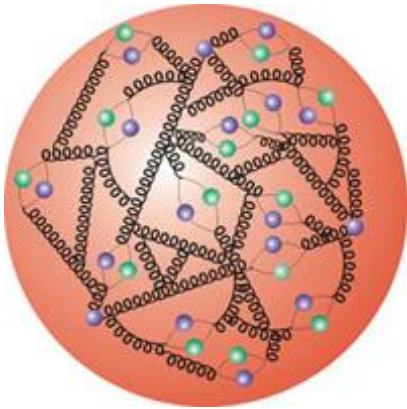
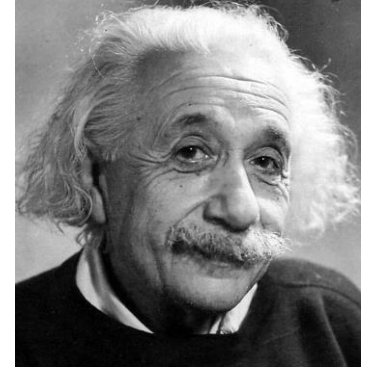
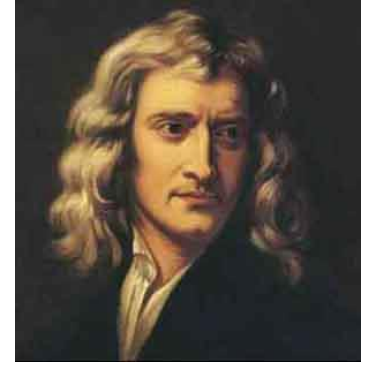
Newton'a göre: "Madde miktarı"

$F = ma \rightarrow$ eylemsizlik kütlesi: maddenin kuvvete olan direnci

$F = mMg/r^2 \rightarrow$ kütleçekimsel kütle

Einstein'a göre:

$E = mc^2 \rightarrow$ durağan kütle: durağan haldeki maddenin karşılık geleceği enerji miktarını verir.



Proton kütlesi: 938.272 MeV

u + u + d kuark durağan kütlesi: 9.4 MeV

Kalan? Kuarkların ve gluonların kinetik enerjisi

Peki **noktasal** olan kuarkların ve diğer bölünemez parçacıkların kütleleri nereden geliyor?

Alanlar ve parçacıklar



Alan: Uzayın her noktasında bir değere sahip olan bir olgudur.

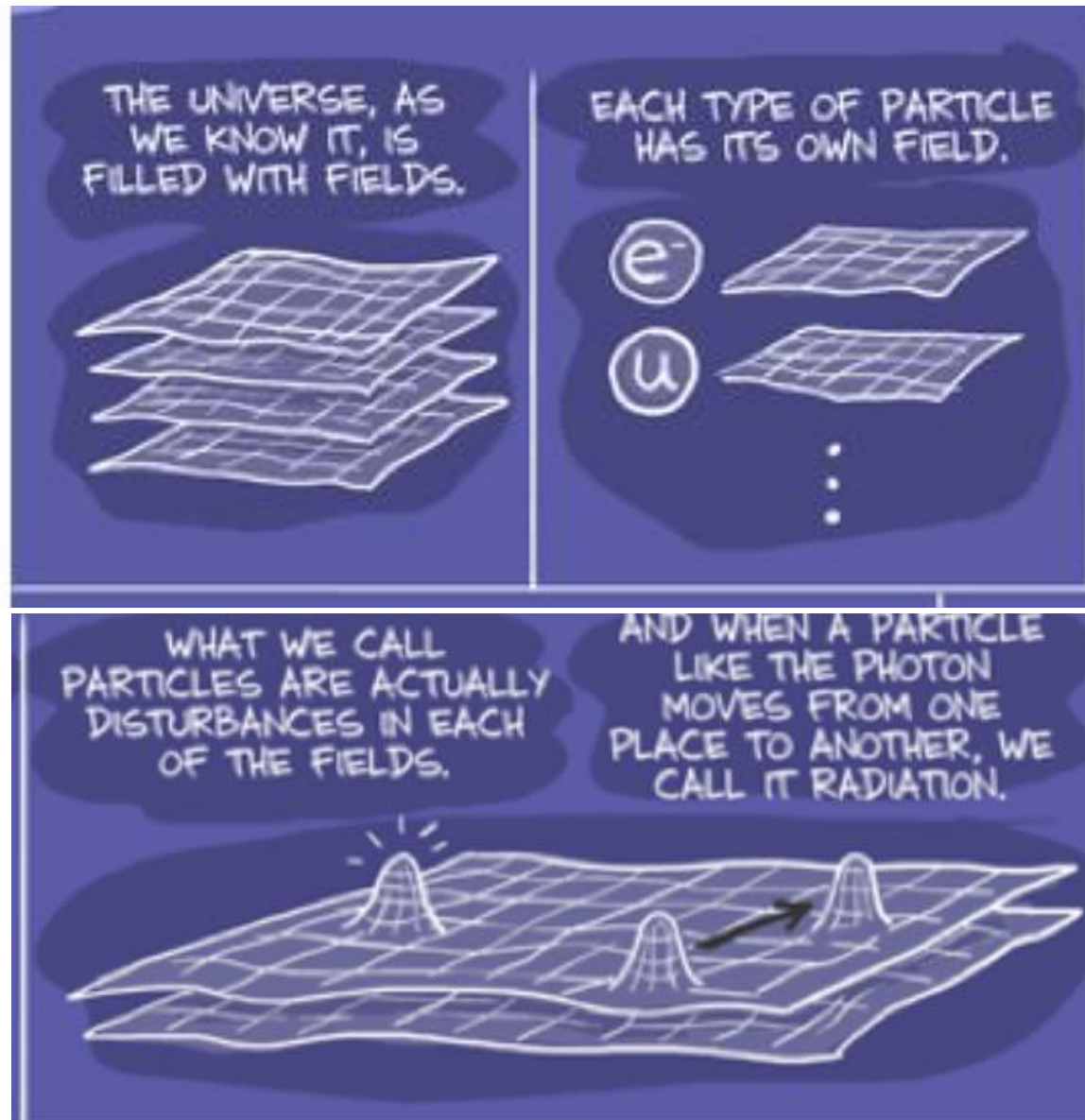
Ölçtüğümüzde varolan şeydir.

Parçacık: Alandaki enerji tanecikleridir / *kuantumlarıdır*.

Ölçmediğimizde varolan şeydir.



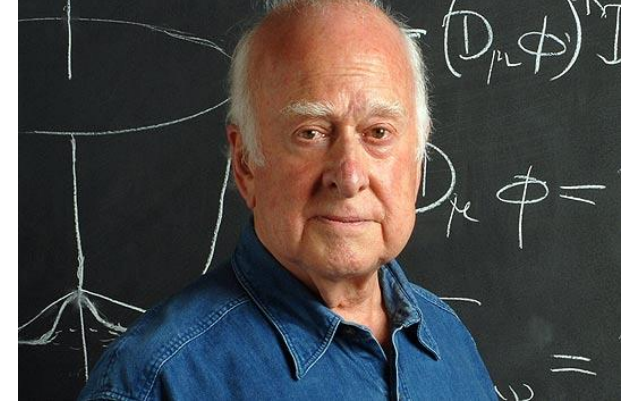
Alanlar ve parçacıklar



1964 Higgs devrimi

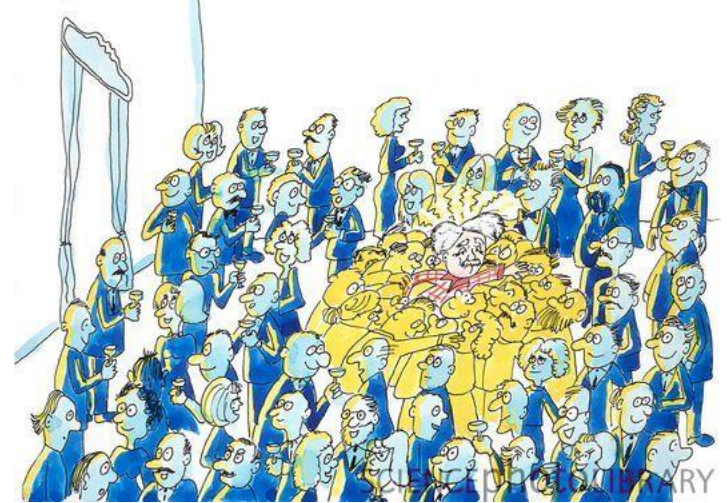
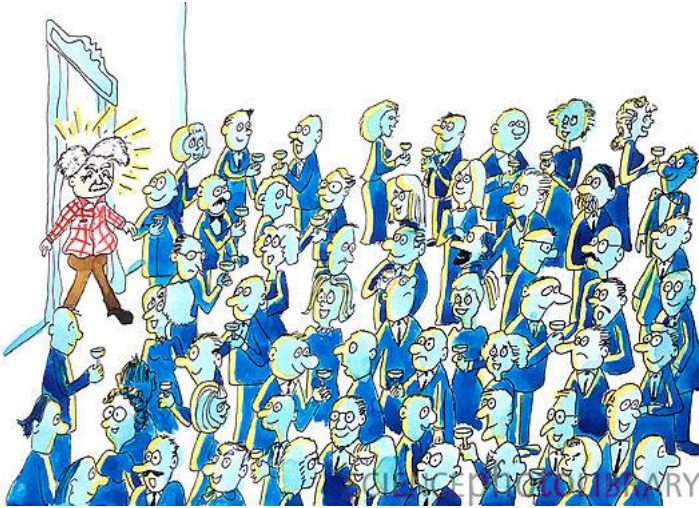


Kibble, Guralnik, Hagen, Englert, Brout

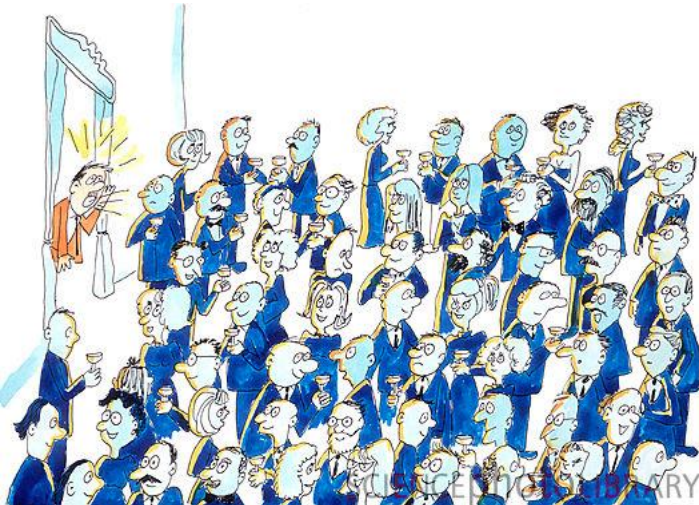


- Parçacıklar Higgs alanı ile etkileşince kütle kazanırlar.
- Parçacıklar Higgs alanı ile ne kadar çok etkileşirlerse o kadar fazla kütle kazanırlar.
- Higgs parçacığı, Higgs alanından doğan parçacıktır.

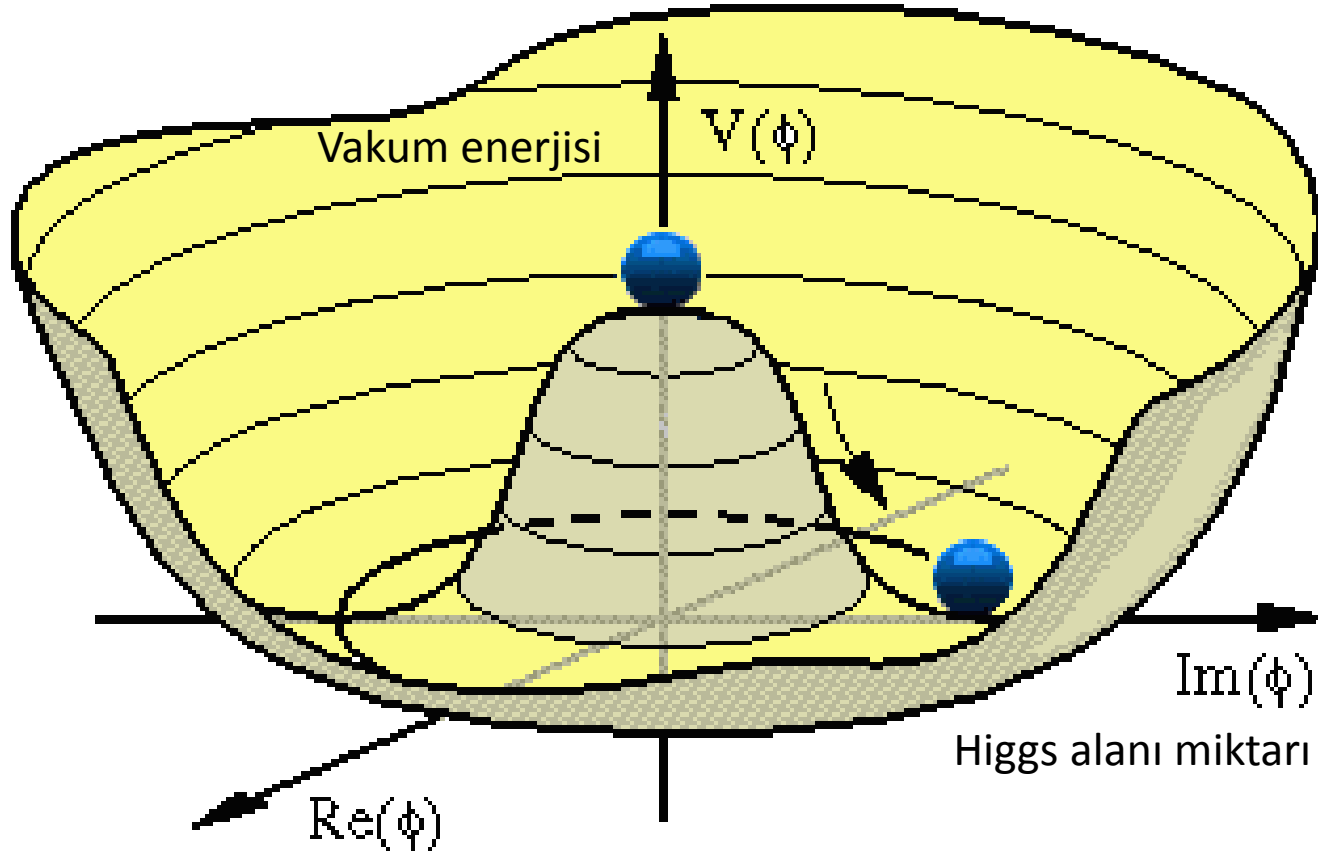
Higgs alanında parçacıkların kütle kazanması



Higgs alanında Higgs parçacığının oluşması

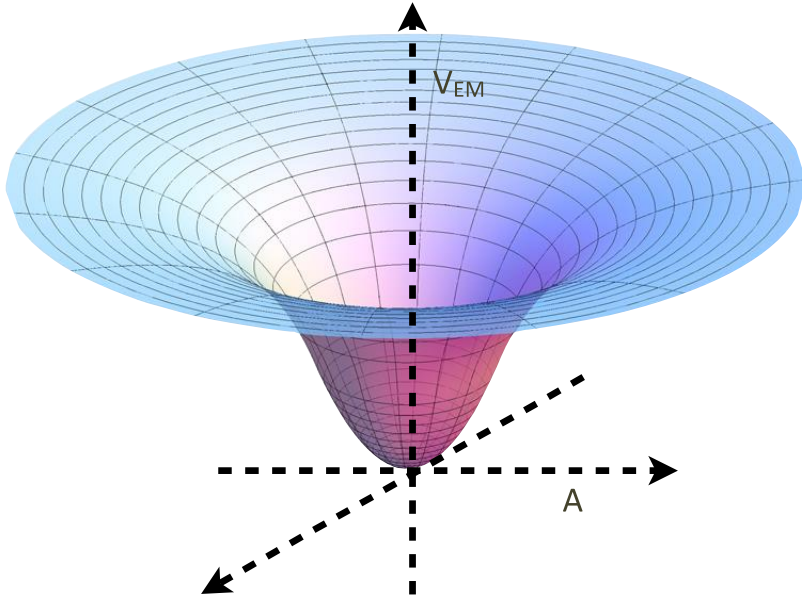


Higgs alanı nasıl oluşur?



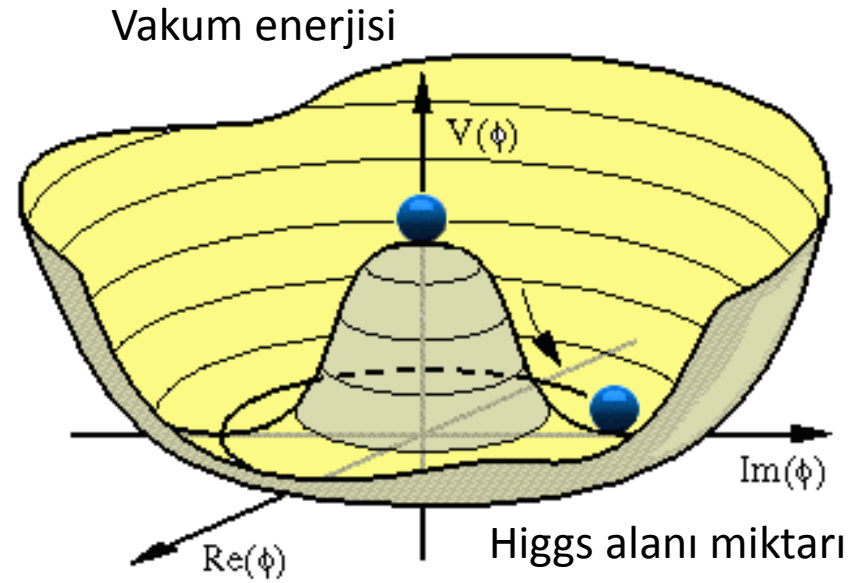
Minimum vakum enerjisi olan noktadaki Higgs alanı miktarı sıfırdan farklıdır. Bu yüzden vakum Higgs alanı ile kaplıdır.

Higgs alanının diğerklerinden farkı



Elektromanyetik alan:

Elektromanyetik alan miktarı sıfır olduğu zaman minimum potansiyel de sıfır olur.



Higgs alanı: Minimum vakum enerjisi olan noktadaki Higgs alanı miktarı sıfırdan farklıdır.

Hızlandırıcılar güçlü mikroskoplardır

Hızlandırıcılar parçacıkların enerjilerini arttırarak küçük parçacıkları görmemizi sağlarlar.

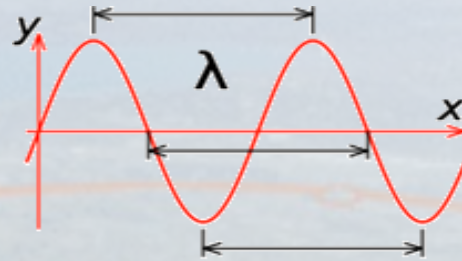


Parçacık/dalga denkleğine göre parçacıkların da dalgaboyları vardır, ve parçacığın dalgaboyu λ ve momentumu p ile bağlantılıdır:

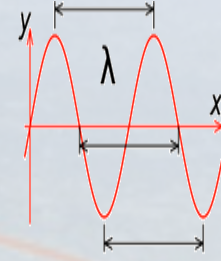
$$\lambda = h / p$$

(h : Planck sabiti)

Momentumu (= enerjisi) arttırılan parçacığın dalga boyu azalır.



düşük enerjili parçacıklar
→ düşük dalga boyu →
düşük çözünürlük



yüksek enerjili parçacıklar
→ yüksek dalga boyu →
yüksek çözünürlük



Large Hadron Collider Büyük Hadron Çarpıştırıcısı

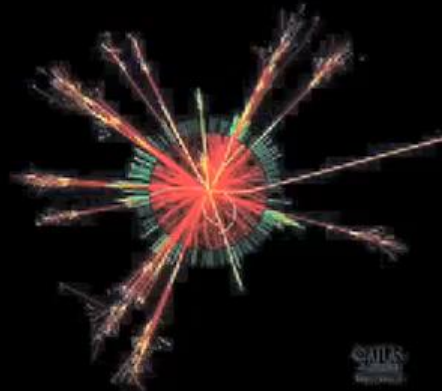
27km çevresi vardır. Enerji büyüklük ile orantılıdır. BHC protonları 14 TeV enerji ile çarpıştırır.

Protonlar hadronlardır (3 kuarktan yapılmış parçacıklar). Hadronlar ağır oldukları için dairesel hareket sırasında daha az enerji kaybederler.

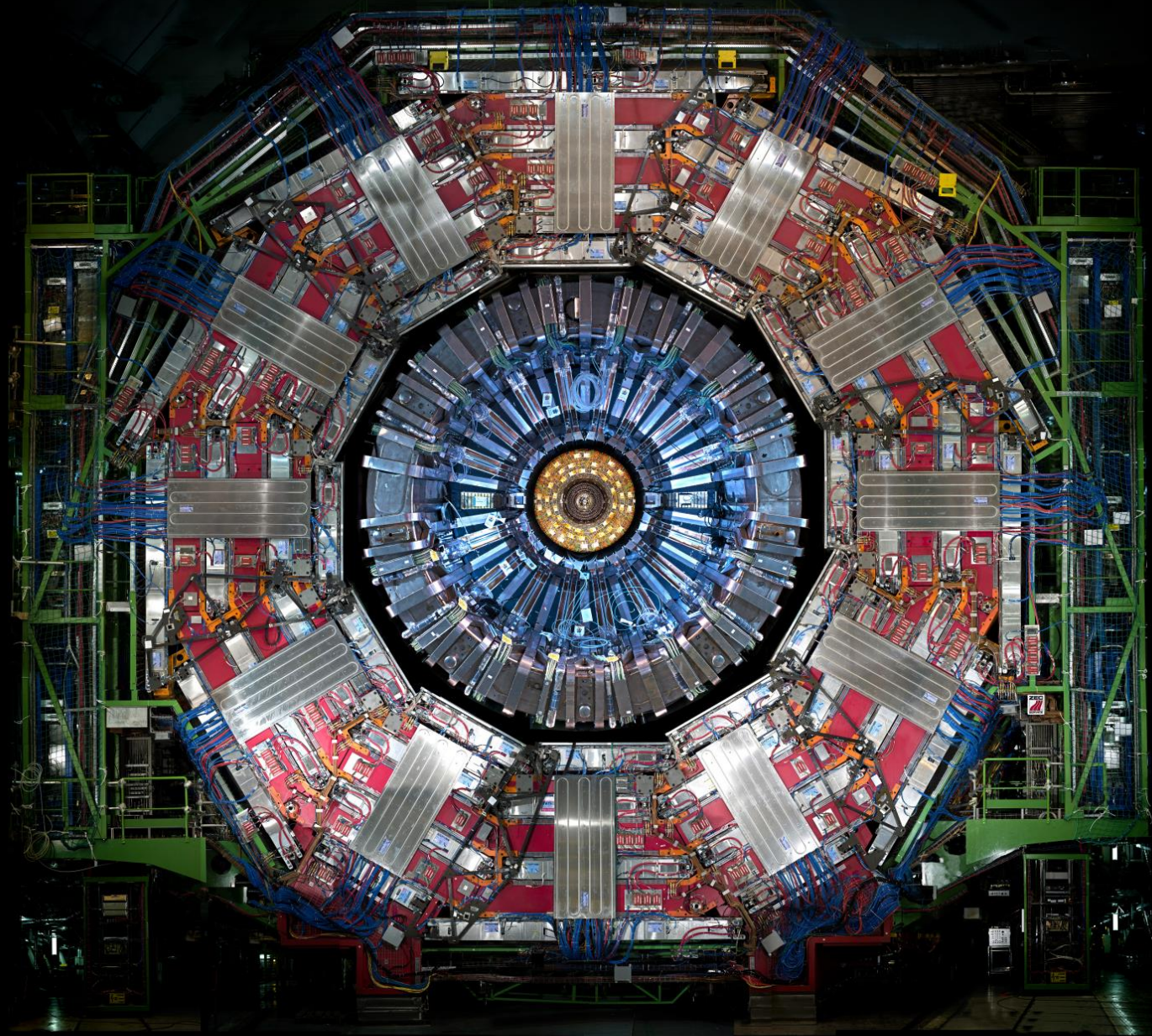
Zıt yönlerde dönen iki ışını çarpıştırır. Bu yöntemle duran bir hedefe ışın çarptırmaktan daha fazla enerji elde edilir.

Proton-proton Collision in the ATLAS Experiment

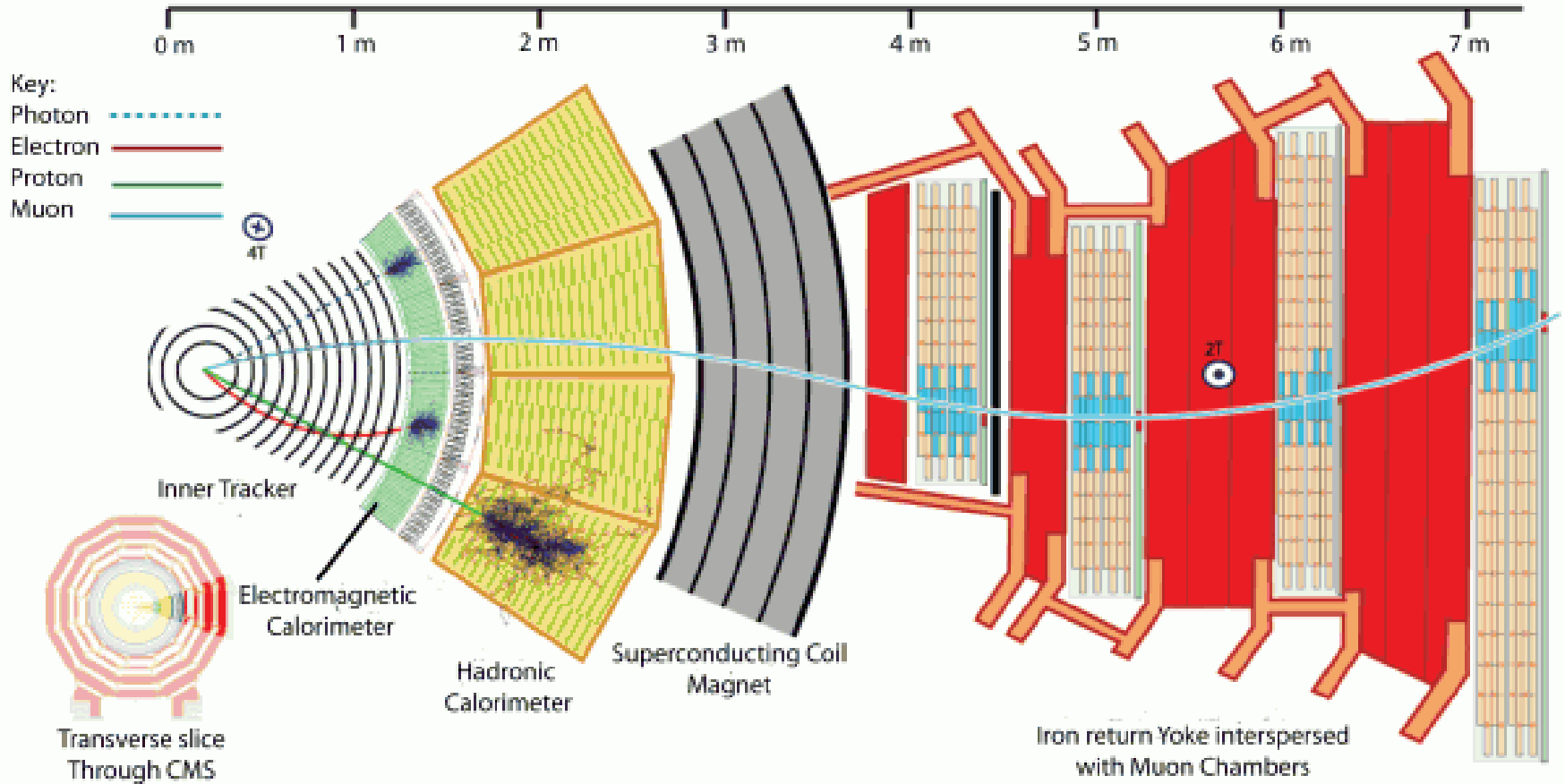
Production of the Higgs particle decaying to two Z^0 particles



Parçacıkları “görmek”: CMSe yakından bakalım



Algıçın içinde: parçacıkların CMS'teki yolu



Buluşu nasıl yapıyoruz: Veri analizi ya da

samanlıkta saman aramak



www.jolyon.co.uk

Higgs'i bulmak

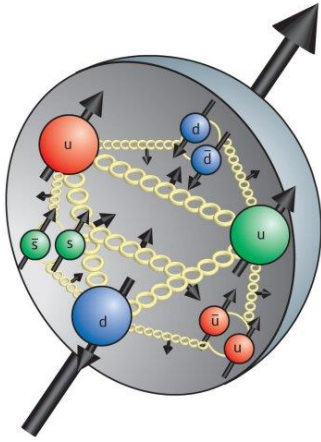
48 yıl = 1.514.764.800 sn.

sürdü!

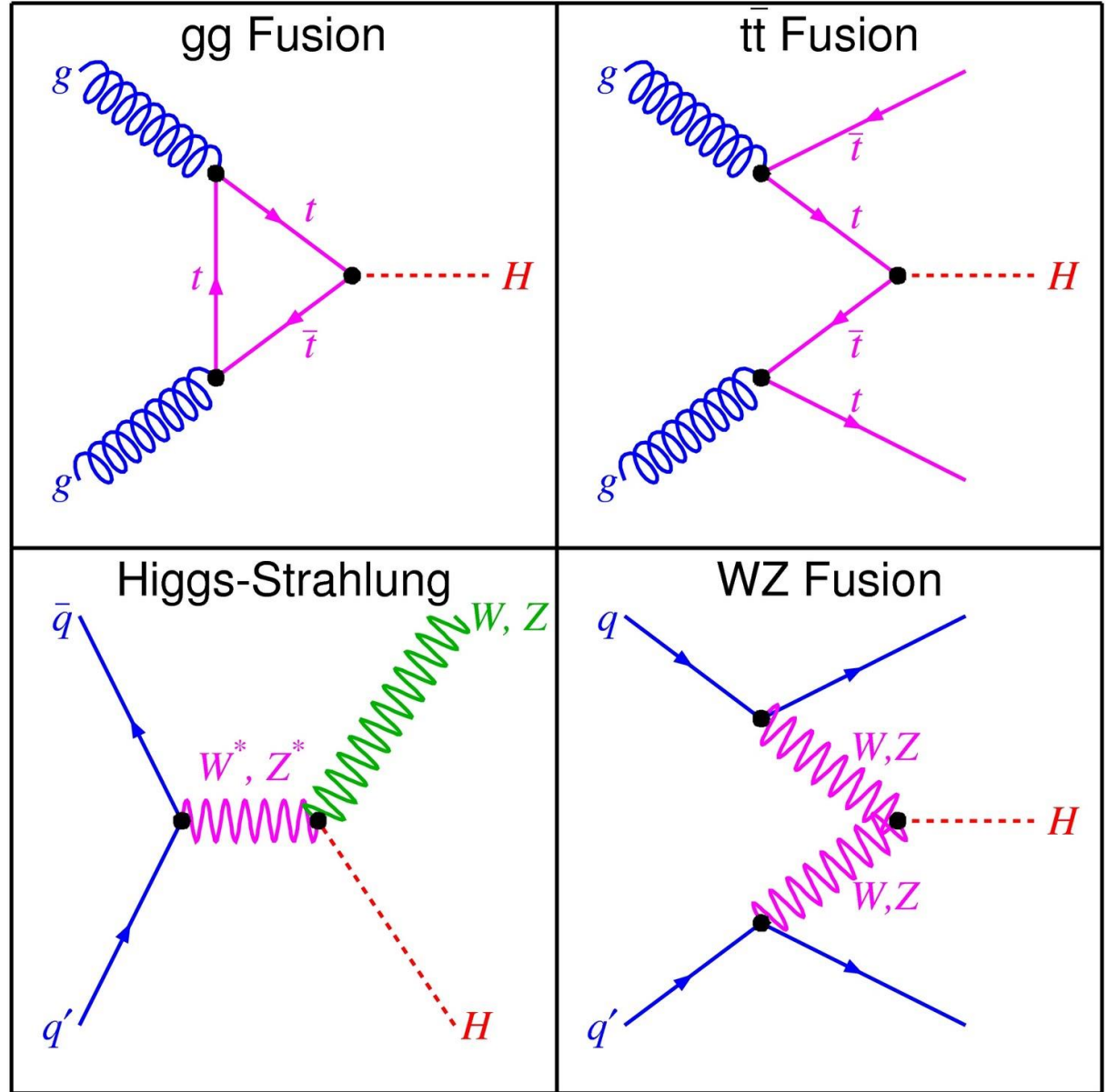
- Higgs'i (ya da diğer ilginç parçacıkları) **yeterli miktarda üret.**
- Higgs'in **bozunduğu parçacıkları algıta gözlemler.**
- Gözlemlendiğin parçacıkların **Higgs'ten geldiğine emin ol** (onları **Standart Model'den ayırt et**).
- SMde beklenenden kayda **değer miktarda daha fazla** Higgs benzeri veri gördüğüne emin ol.
- Şampanyaları hazırla!

Standart Model'de **Higgs kütlesi** bilindiđi zaman Higgs'in bütün diğer özellikleri de yüksek kesinlikle hesaplanır.

LHC'de Higgs nasıl oluşur?



- Protonların içerisinde **quarklar** ve **gluonlar** bulunur.
- 2 proton çarpışınca aslında **gg**, **gq** ya da **qq** etkileşimi gerçekleşir.
- Higgs ve diğer parçacıklar bu etkileşimlerden **birkaç farklı şekilde** doğar.



LHC'de ne kadar etkileşim oluşur?

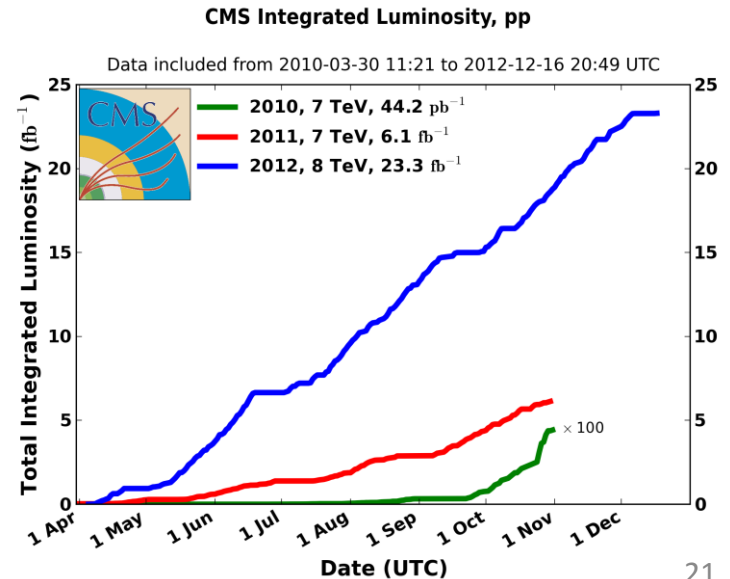
- Belli bir parçacık etkileşiminin hangi olasılıkla meydana geleceğini gösteren niceliğe **tesir kesiti** (σ) denir.
 - Tesir kesiti **alan birimleri** ile ölçülür (**barn** (10^{-28}m^2), **pikobarn**, **femtobarn**).
 - Tesir kesiti, etkileşimde yeralan parçacıkların cinsine, özelliklerine ve etkileşim enerjisine bağlıdır.
- LHC'de **ışınlık** (**luminosity, L**), saniyede 1 cm^2 'de kaç pp çarpışması olduğunun ölçümüdür.
 - ışınlık $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ birimi ile ölçülür. LHC'nin ışınlığı 2012 yılında $10^{33}\text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 'ye ulaşmıştı.

- Toplam ışınlık** ise belli bir zaman sürecinde birim alanda kaç pp çarpışması olduğunun ölçümüdür. fb^{-1} , pb^{-1} gibi birimlerle ölçülür.

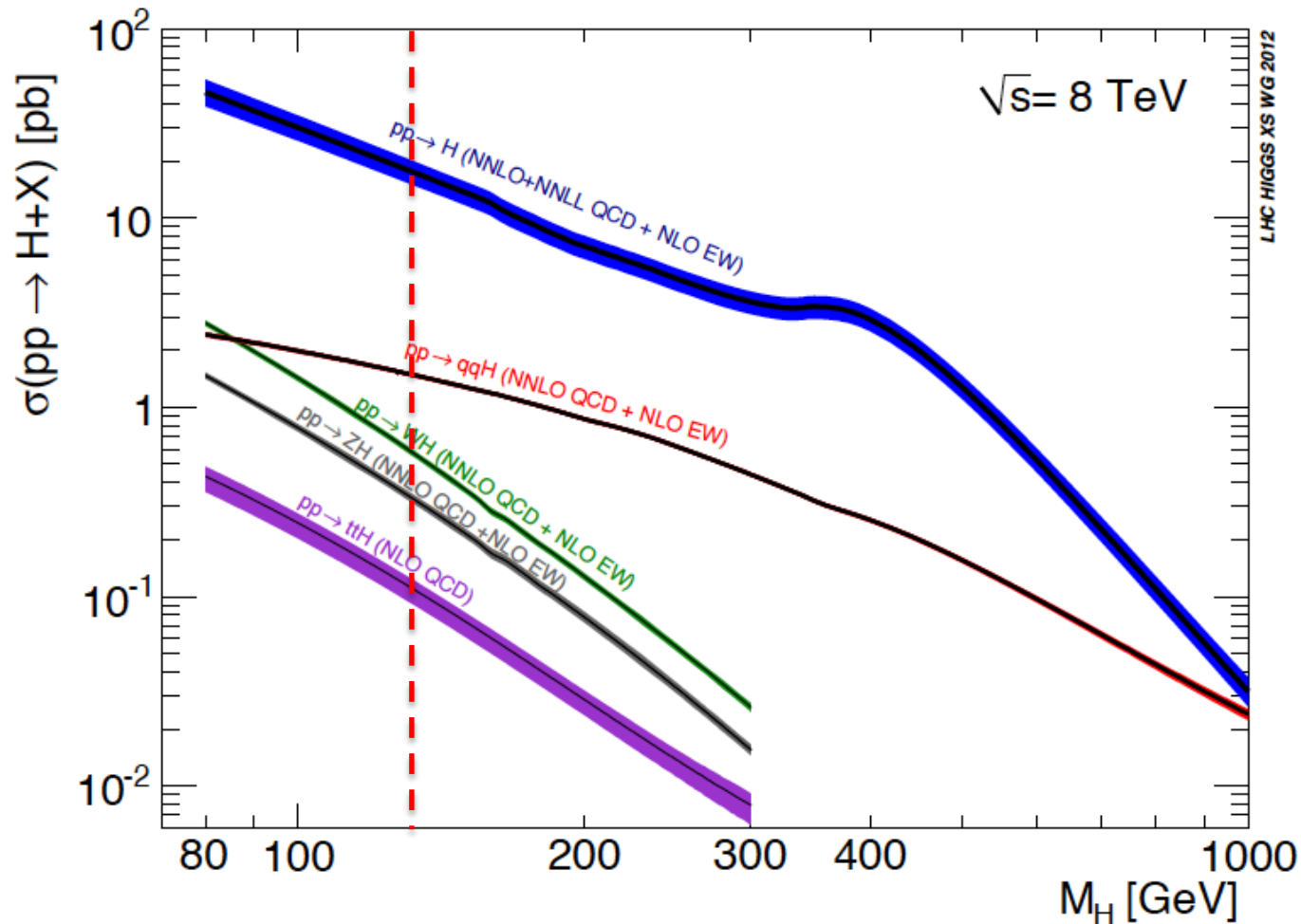
- LHC'de oluşan etkileşim sayısı **N**

$$N = \sigma \times L$$

şeklinde hesaplanır.



LHC'de ne kadar Higgs oluşur?

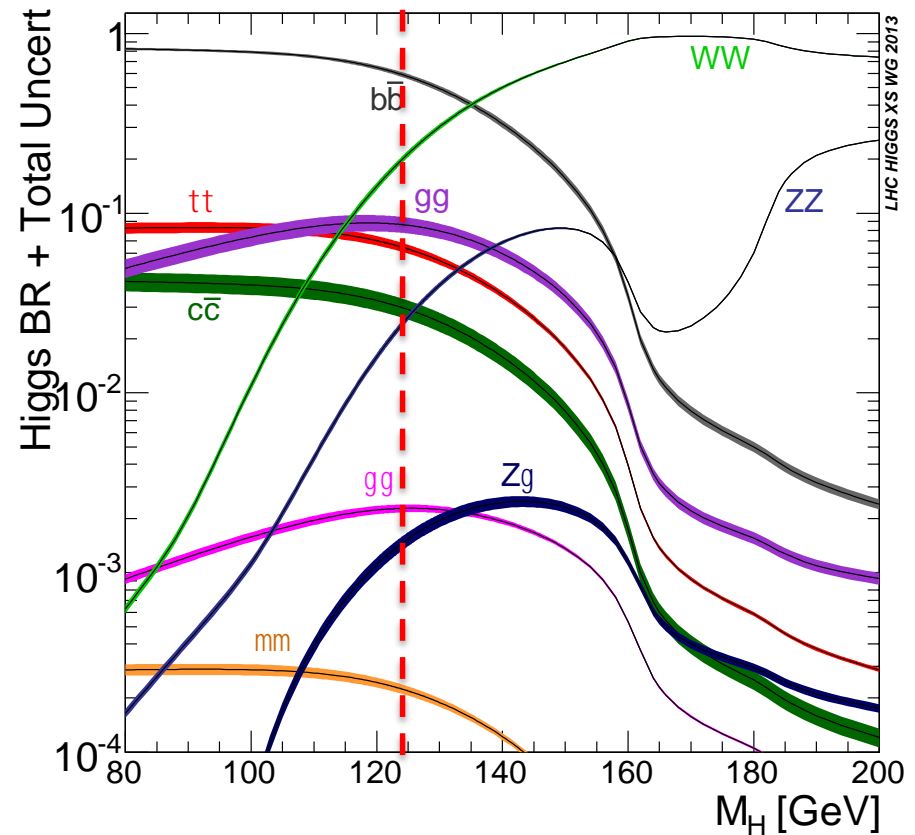
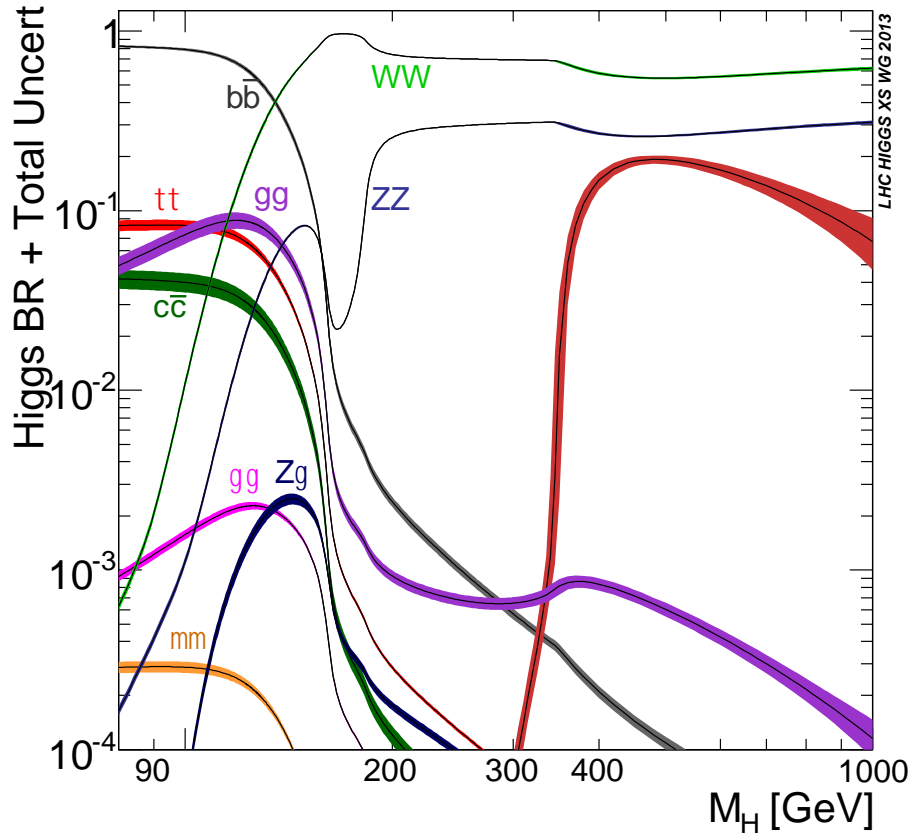


BHÇ'de 8TeV run'da kaç Higgs oluştuğunu hesaplamak için y eksenindeki tesir kesiti değerini 20000 pb^{-1} ışınlık ile çarpın.

BHÇ şimdi bile bir **Higgs fabrikası**dır. BHÇ'de **dakikada 15 Higgs** olmak üzere **toplamda yaklaşık 1 milyon Higgs** üretildi.

Higgs nasıl bozunur?

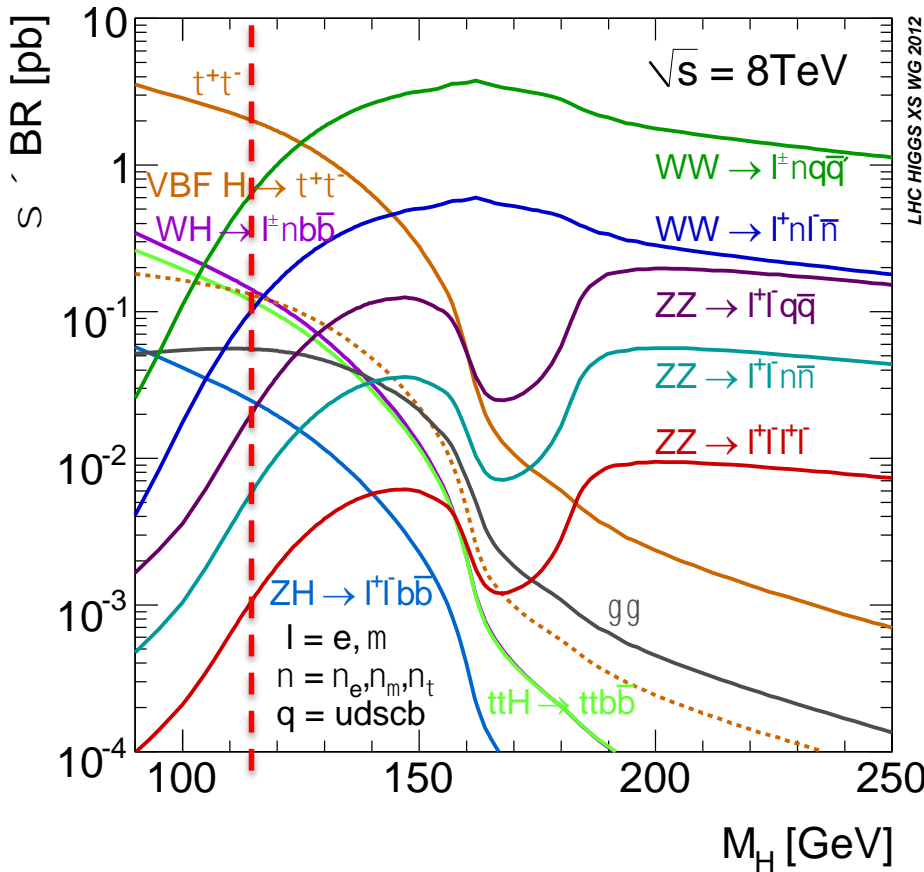
- Higgs'in **ömrü 10^{-22} saniyedir**, ve hemen kendinden hafif parçacıklara **bozunur**. Bu bozunma **farklı şekillerde** gerçekleşir.
- Higgs'in belli bir **son duruma** bozunma olasılığına **dallanma oranı (BR)** denir.



Farklı kanallarda kaç Higgs vardır?

Belli bir kanalda göreceğimiz Higgs sayısı

$$N = \sigma \times BR \times L$$



LHC'de Higgs'ı nasıl arayacağımıza bu grafik karar verir.

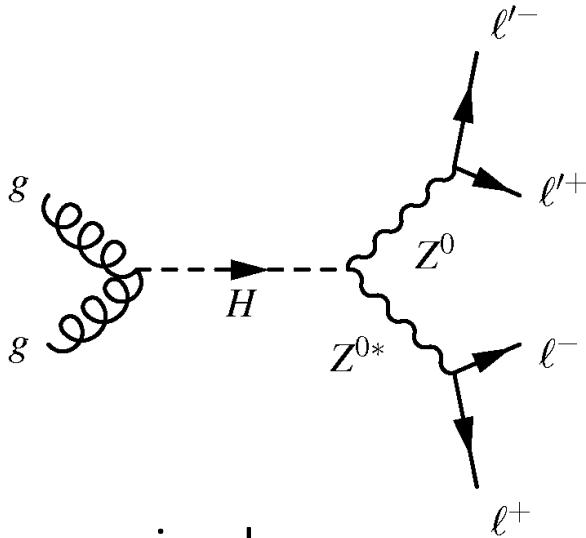
- $\sigma \times BR$ ne kadar yüksekse o kadar çok Higgs'li olay göreceğiz demektir.
- Ayrıca son durumda çıkan parçacıkları algıncın ne hassaslıkla algıladığına dikkat etmeliyiz.

ANCAK...

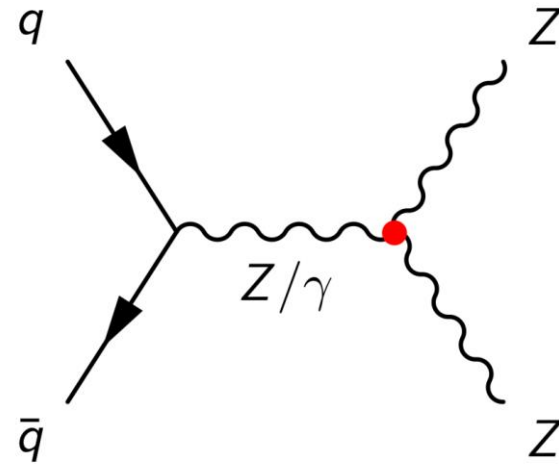
LHC'de 8TeV veri alımında kaç Higgs oluştuğunu hesaplamak için y eksenindeki tesir kesiti değerini 20000 pb^{-1} ışınlık ile çarpın.

Higgs sinyalini ayırd edebilmek

LHC'de **aradığımızın dışında** birçok başka etkileşim gerçekleşir. Ve genelde aramadığımız etkileşimler (**ardalan / background**) aradıklarımızdan (**sinyal**) **çok daha sık** gerçekleşir.



sinyal:
 $\sigma = 0.001 \text{ pb}$



ardalan:
 $\sigma = 8.26 \text{ pb}$

Sinyal olaylarını ardalan olaylarından **ayırd edici yöntemler** kullanarak ardalandan kurtulmalıyız.

Higgs sinyalini ayırd edebilmek

- Higgs'li final durumları Higgs'siz final durumlardan ayırt etmeye yarayan bir özellik Higgs'in **değişmez kütle**sidir.
- Değişmez kütle **Higgs'in bozunmasıyla ortaya çıkan tüm parçacıklar** kullanılarak hesaplanır:

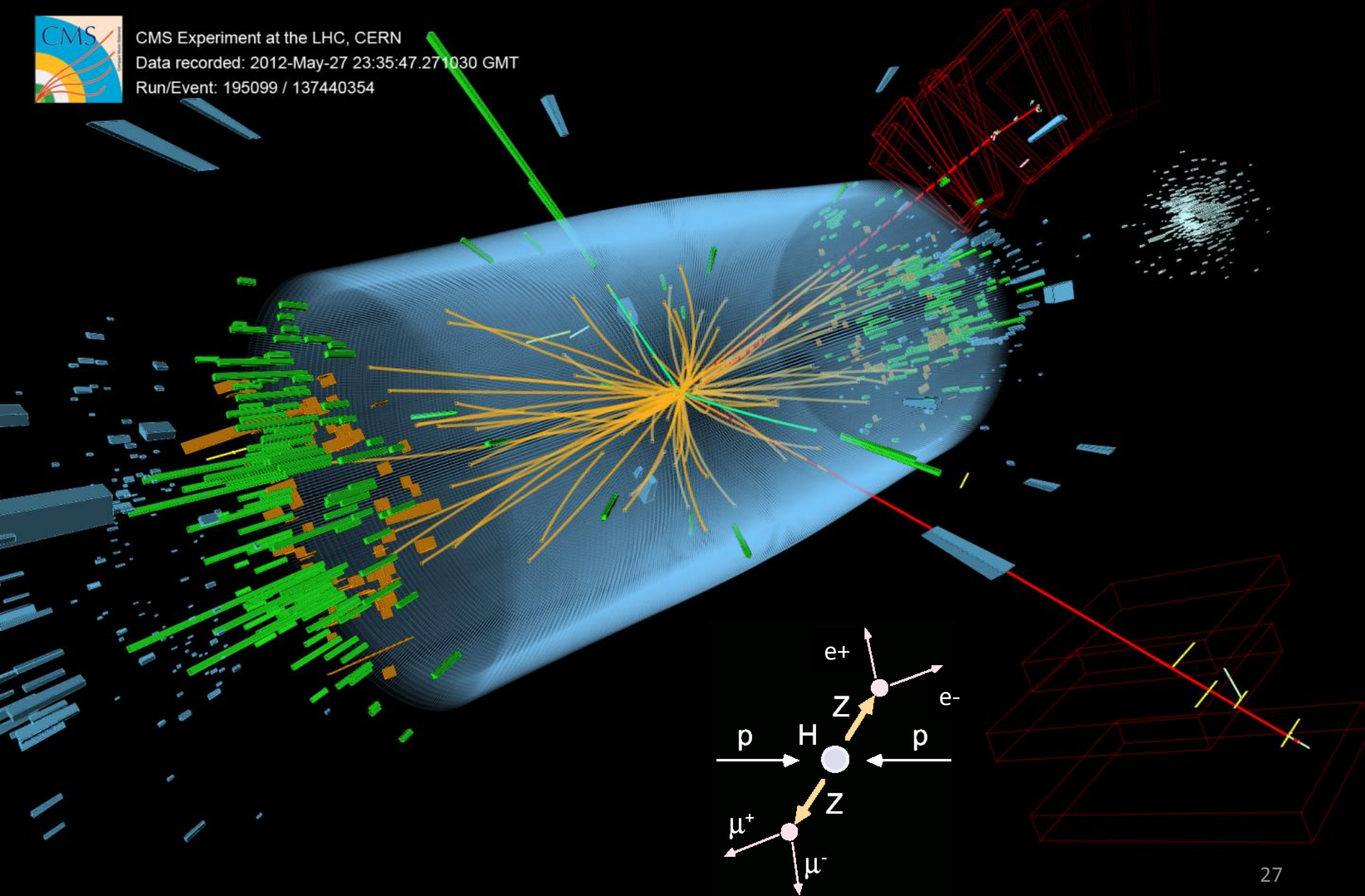
$$m^2 = \left(\sum_{i=0}^n E_i \right)^2 - \left| \sum_{i=0}^n \vec{p}_i \right|^2$$

- Değişmez kütle her **referans çerçevesinde aynıdır** ve ana parçacığın (yani Higgs'in) kütesine eşittir.
- **pp → h → ZZ → 4lepton** örneğinde değişmez kütle **4 leptonun enerjileri ve momentumları** kullanılarak hesaplanır.
- **Her çarpışma olayında** Higgs değişmez kütle **aynıdır**.
- Oysa **pp → ZZ → 4lepton** gibi **ardalan olaylarda ZZ'ye bozunan bir ana parçacık yoktur** – bu yüzden 4lepton değişmez kütle **herhangi bir değer alabilir**.
- Sonuçta Higgs'li olaylardaki değişmez kütle **hep Higgs kütleleri etrafında** çıkarken ardalan olaylarda kütle **rastgele dağılacaktır**. Bu da Higgs'i ardalandan ayırt etmemize yarar.

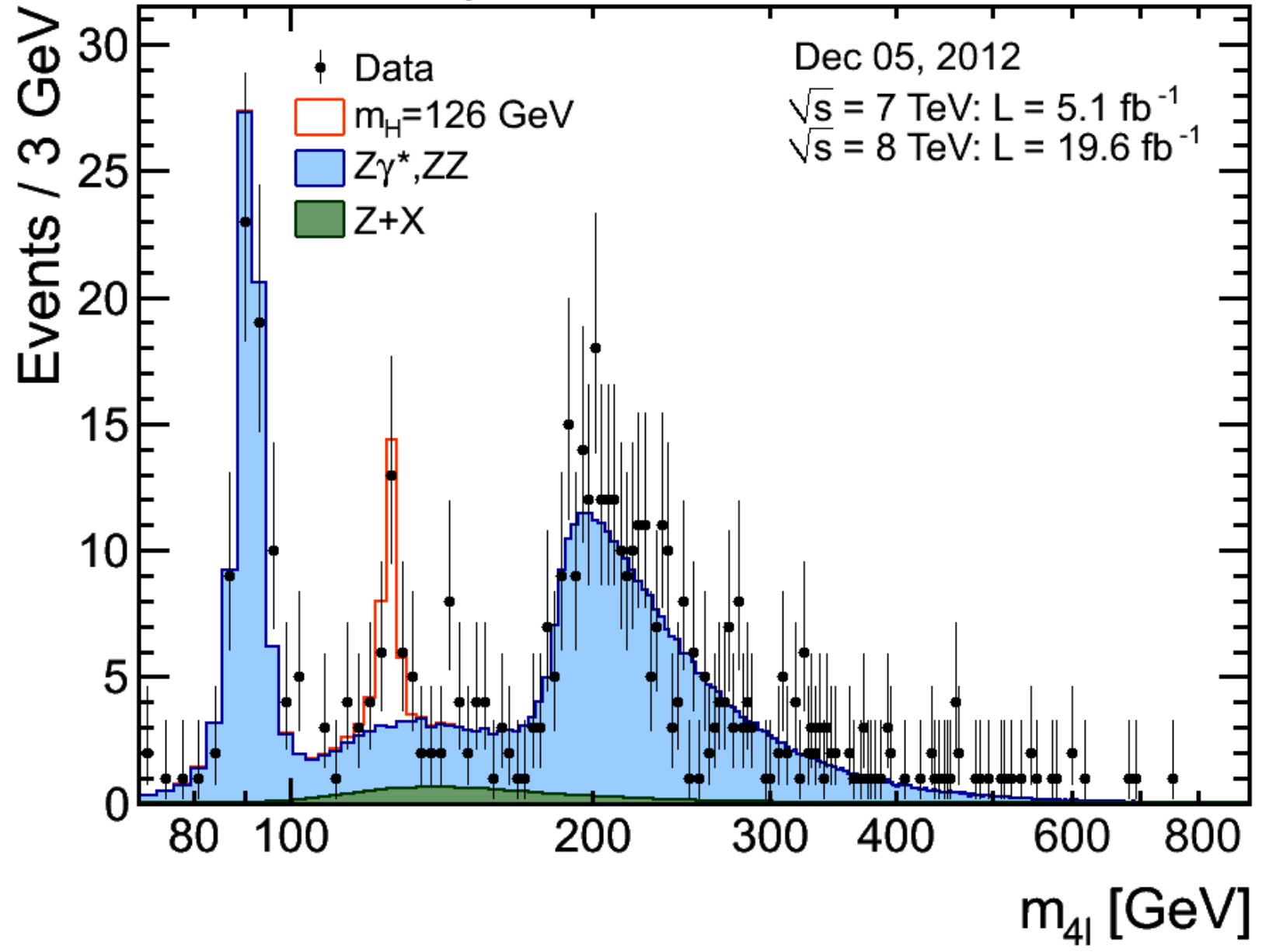
Higgs \rightarrow $e\mu\mu$ olay adayı



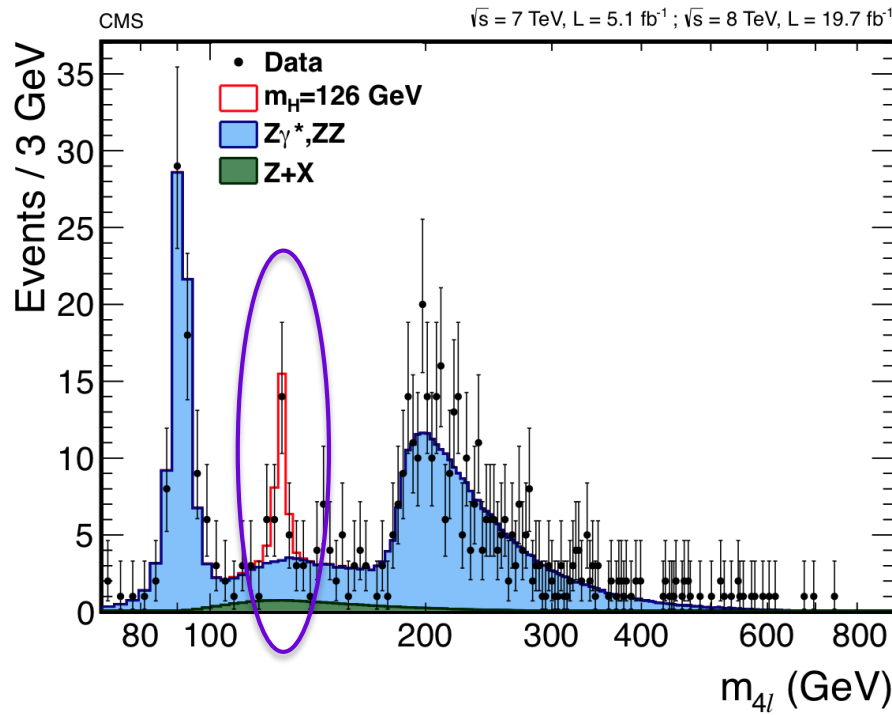
CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2012-May-27 23:35:47.271030 GMT
Run/Event: 195099 / 137440354



CMS Preliminary

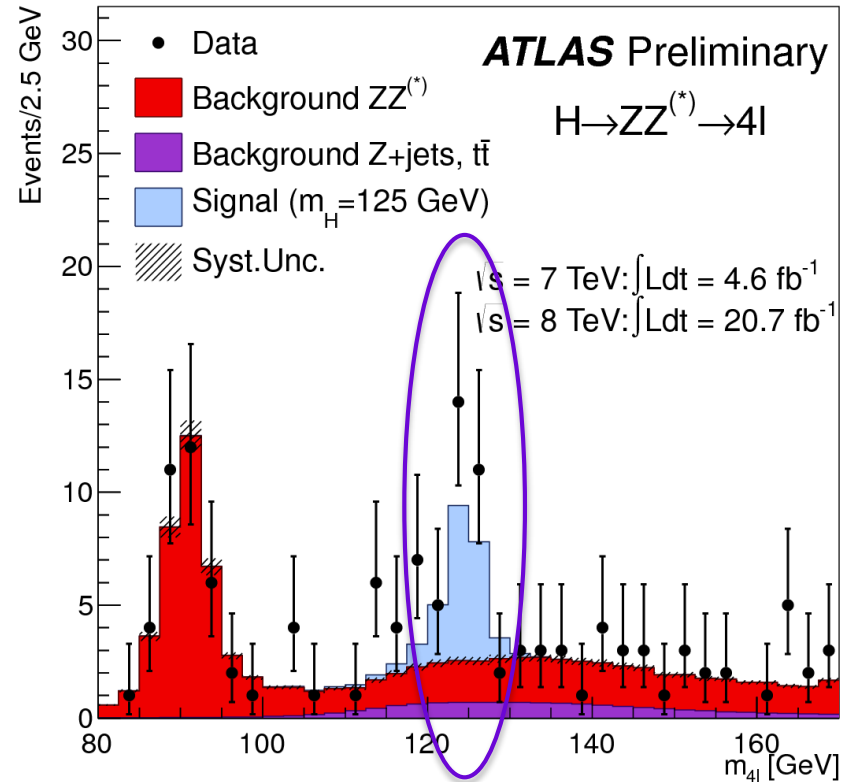


$h \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$ kanalında gözlem

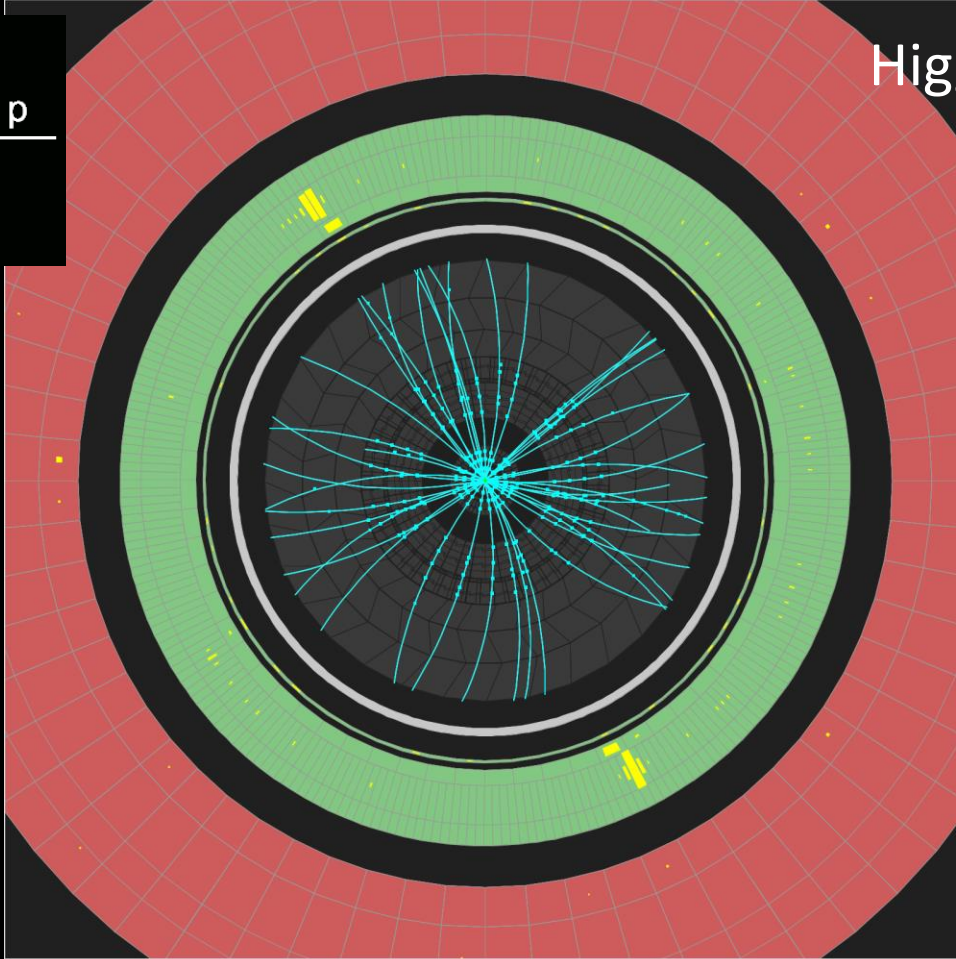
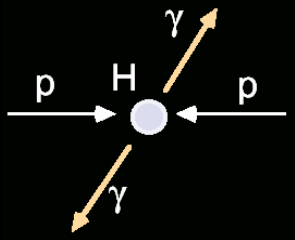


Ancak değişmez kütle hep 126 değildir. 126'in etrafında bir dağılım gösterir. Bu dağılımın en önemli sebebi algıç çözünürlüğünün mükemmel olmamasıdır. Ölçümdeki belirsizlik Higgs kütle dağılımına yansır.

126 GeV değişmez kütlede veri noktaları ile beklenen SM ardalan arasında bir fark gözlenmektedir. Bu fark Higgs sinyali ile açıklanır.

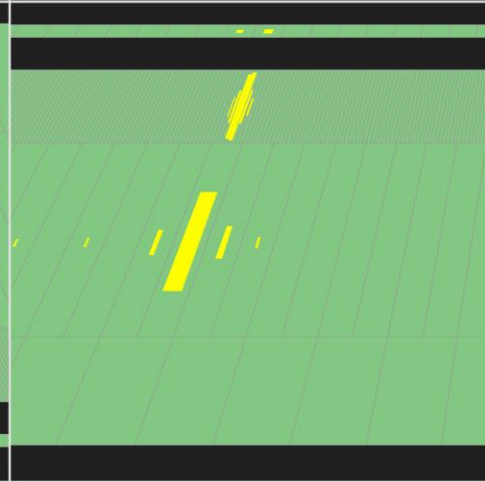
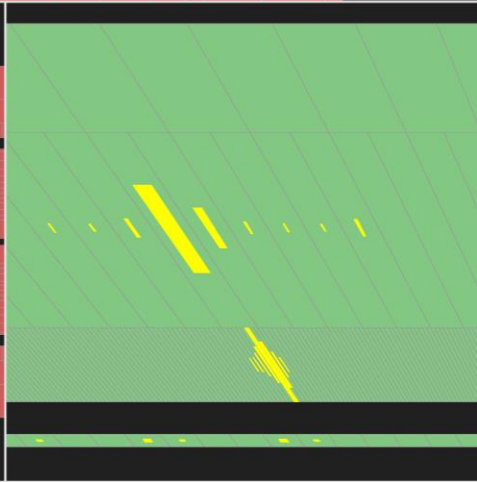
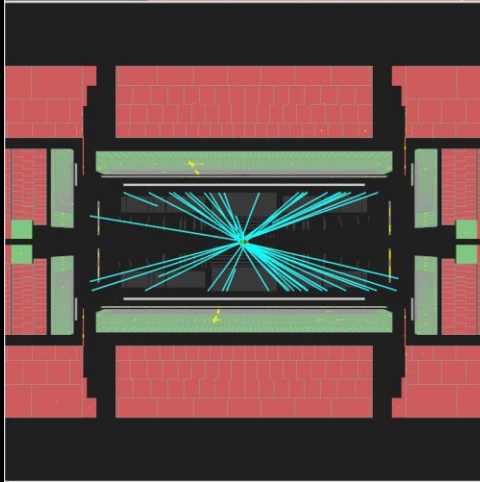
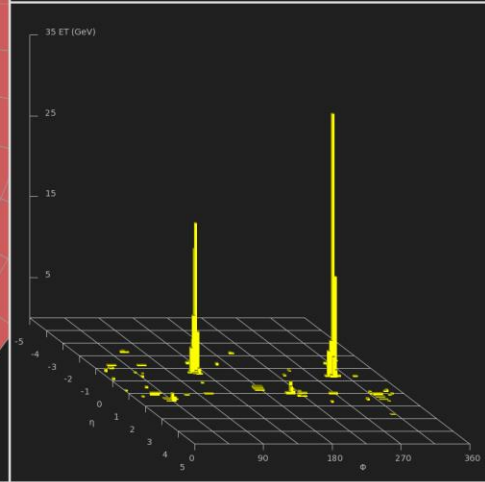


Higgs \rightarrow 2photon olayı

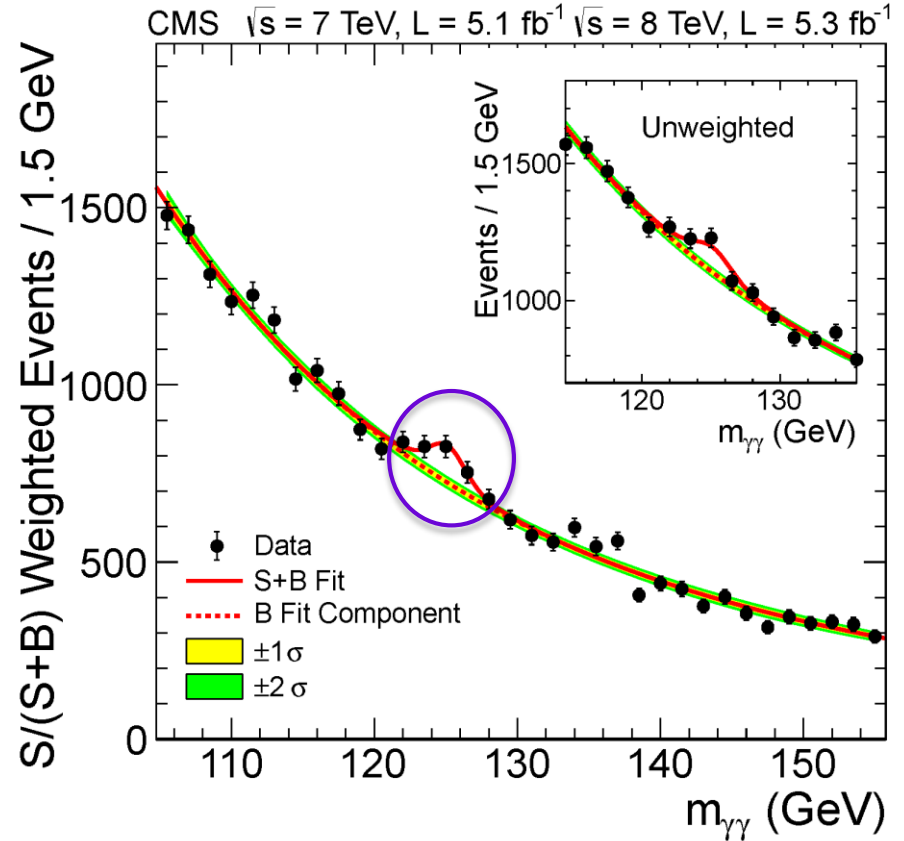
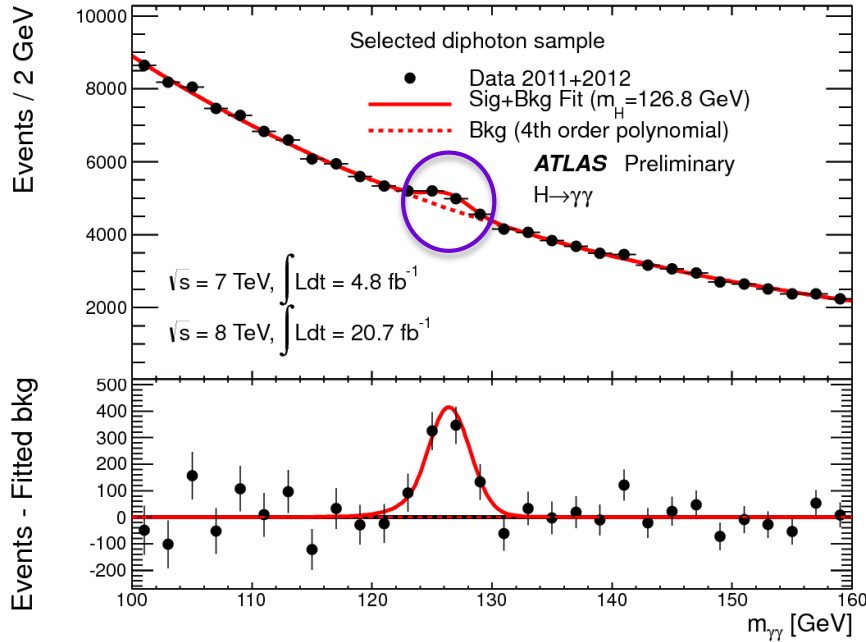


Run Number: 191426, Event Number: 86694500

Date: 2011-10-22 15:30:29 UTC



$h \rightarrow \gamma\gamma$ (2 foton) kanalında gözlem



Bu analizde beklenen ardalın dağılımını **yüksek dereceli polinomla** ifade edilir.

Veriler polinoma oturtulur (fit edilir) ve ardalın beklentisi ile veriler arasındaki fark hesaplanır.

Higgs Standart Model'e ne kadar uygun? - I

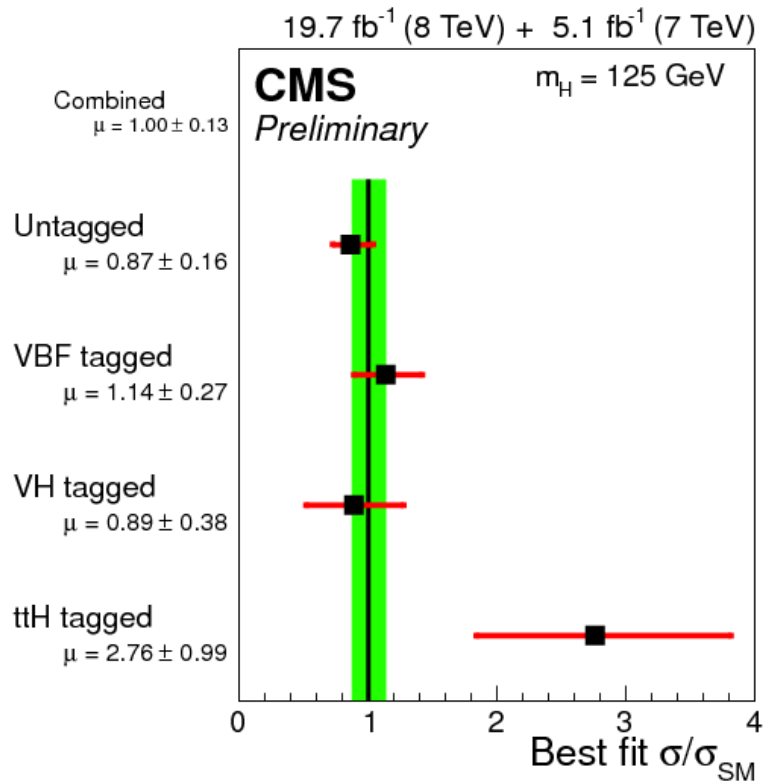
Bir kanal için **sinyal gücü**:

$$\mu = \frac{\text{Gozlenen Higgs olayi sayisi}}{\text{SMde beklenen Higgs olayi sayisi}}$$

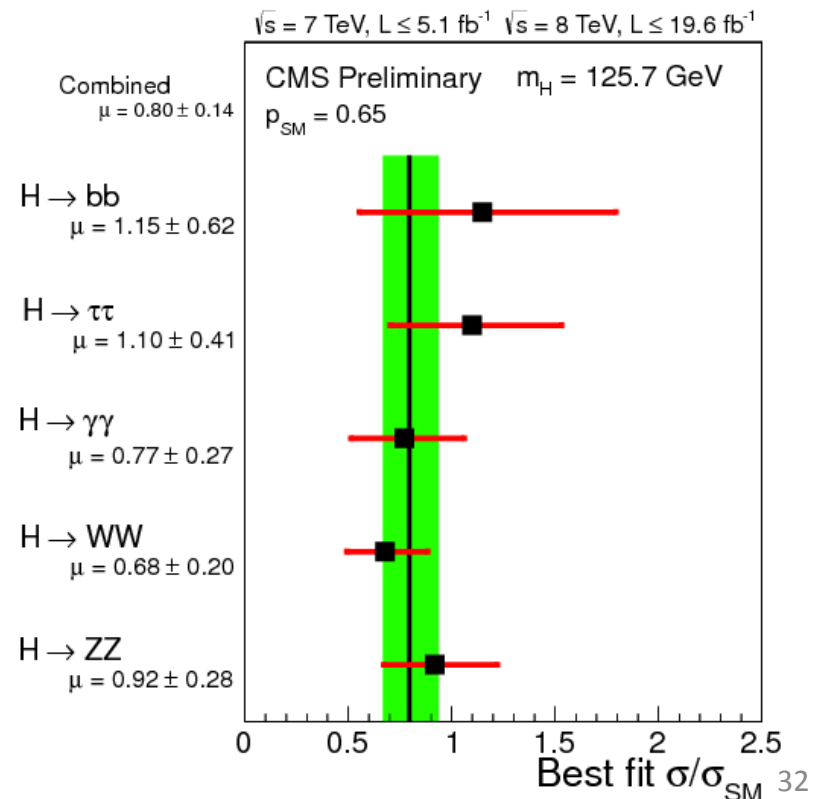
$\mu = 0$: Higgs yok

$\mu = 1$: Higgs SM ile uygun

Tesir kesitleri



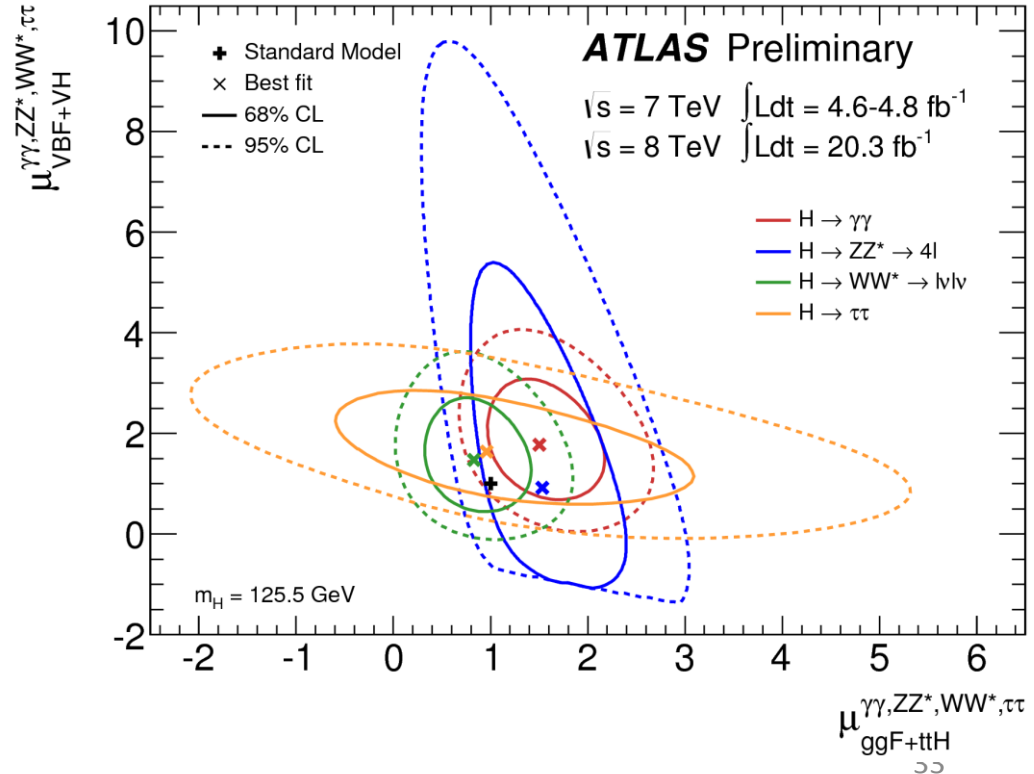
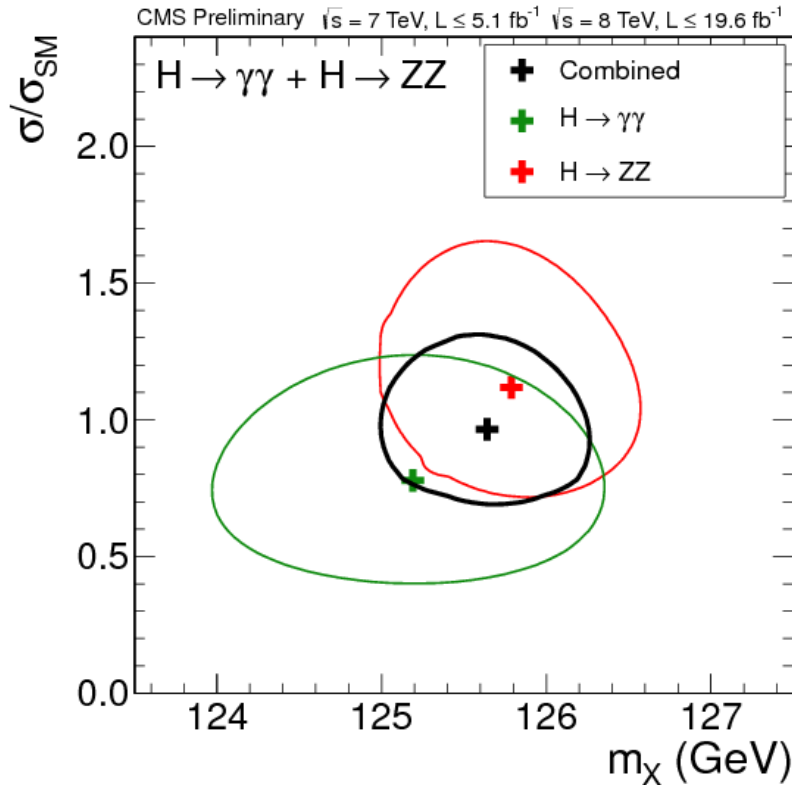
Dallanma oranları



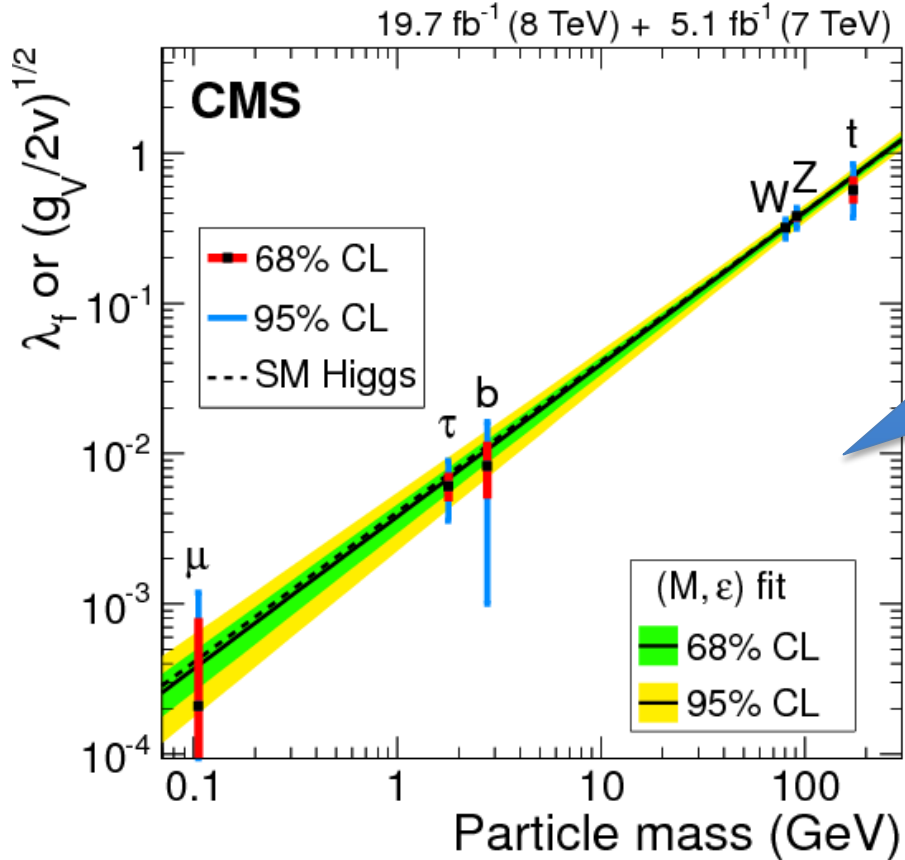
Higgs Standart Model'e ne kadar uygun? - II

Sinyal gücü ve Higgs kütesini birlikte fit etmek ya da farklı Higgs üretim ve bozunma kanallarındaki sinyal gücü değerlerini karşılaştırmak bize SME uygunluk hakkında daha ayrıntılı fikir veriyor.

Bu bilgiler aynı zamanda çeşitli yeni fizik kuramlarının veriye uygunluğunu **sınamamızı** da sağlıyor.



Higgs Standart Model'e ne kadar uygun? - III



Parçacıklar Higgs bosonu ile ne kadar çok etkileşirlerse o kadar çok kütle kazanırlar.

SM parçacıkların etkileşim gücüne karşı SM parçacıkların kütleleri. Kırmızı ve mavi çizgiler deney ölçümünü, düz çizgi veriye oturtulmuş eğriyi, bantlar eğrideki hatayı, kesikli çizgi de SM beklentisini gösteriyor. Veri SM ile uyumlu.

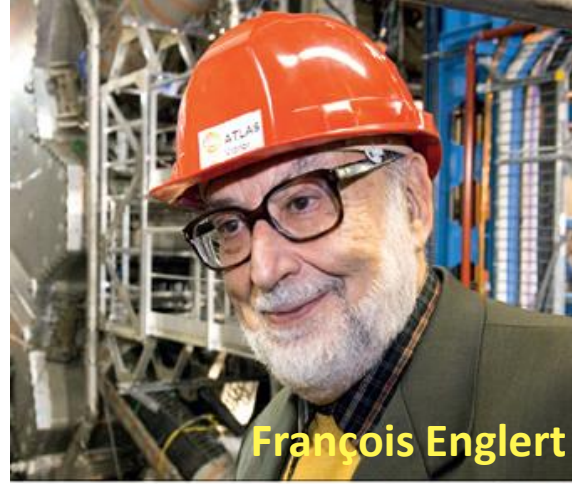
4 Temmuz 2012, CERN, Ana salon



2013 Nobel Fizik Ödülü



"Atomaltı parçacıkların kütlesinin kökenine dair anlayışımıza katkıda bulunan ve yakın zamanda CERN'in Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda ATLAS ve CMS deneyleri ile tahmin edilen temel parçacığın keşfedilmesiyle onaylanan mekanizmanın kuramsal keşfinden dolayı"



François Englert

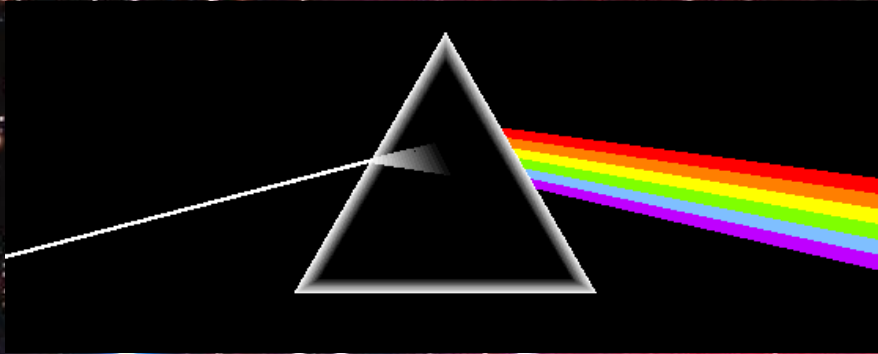


Peter Higgs



CERN 40 Nolu bina: Nobel açıklaması sırasında

Higgs buluşu neden bu kadar önemli?



Higgs alanı farklı temel parçacıklara farklı kütleler vererek **evrenin simetrisini kırar.**

Higgs alanı olmasaydı:

- temel parçacıklar kütle kazanamazlardı.
- Elektron kütlesi sıfırlandığı için atomlar varolamazdı.
- Atomlar varolmayınca galaksiler, gezegenler ve bizler varolamazdık.
- Evren ışık hızıyla yol alan benzer parçacıklarla dolu tekdüze bir yer olurdu!

Sonuç olarak...

- Higgs parçacığı **bulundu**. Böylece **temel parçacıkların kütlelerini Higgs mekanizması ile kazandıkları** anlaşıldı.
- Higgs LHC'de **birçok oluşma ve bozunma kanalında** araştırıldı ve gözlemlendi. Bu gözlemler **birleştirilerek** Higgs'in özelliklerini inceliyoruz.
- Higgs kütlelerinin **126 GeV** olduğunu biliyoruz – ancak **neden 126 GeV** olduğunu henüz bilmiyoruz.
- Higgs şu anki gözlemlere göre **Standart Model beklentileri ile uyumlu** – ancak **gözlemlerin duyarlılığı arttırılarak** bu uyum kesinleştirilmeye çalışılıyor. Gözlemlenecek **herhangi bir uyumsuzluk SM ötesi fiziğin varlığını işaret edecektir**.
- Higgs SMce hesaplanan şekilde davranırsa da yine de **SM ötesi yeni bir kuramın parçası olabilir**. Bunu anlamak için LHC'de SM ötesi kuramların öngördüğü **yeni parçacıklar** arıyoruz.
- Higgs tek başına olmayabilir. SM ötesi kuramlarda **birden fazla Higgs** varolabilir. LHC'de bu farklı Higgs'leri de arıyoruz.
- Ayrıca **Higgs ve evrendeki karanlık madde arasında bir bağ** olup olmadığını anlamaya çalışıyoruz.