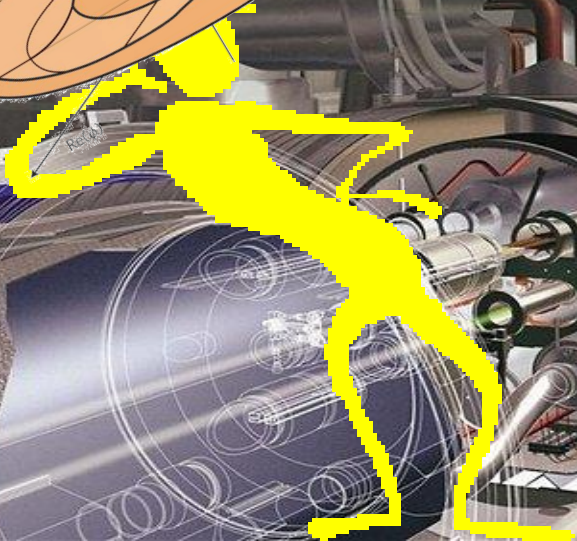
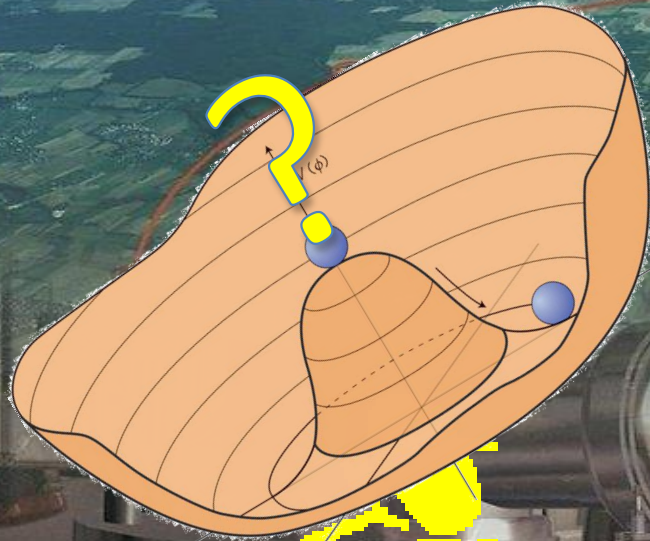




# Higgs ve Higgs Buluşu

Sezen Sekmen

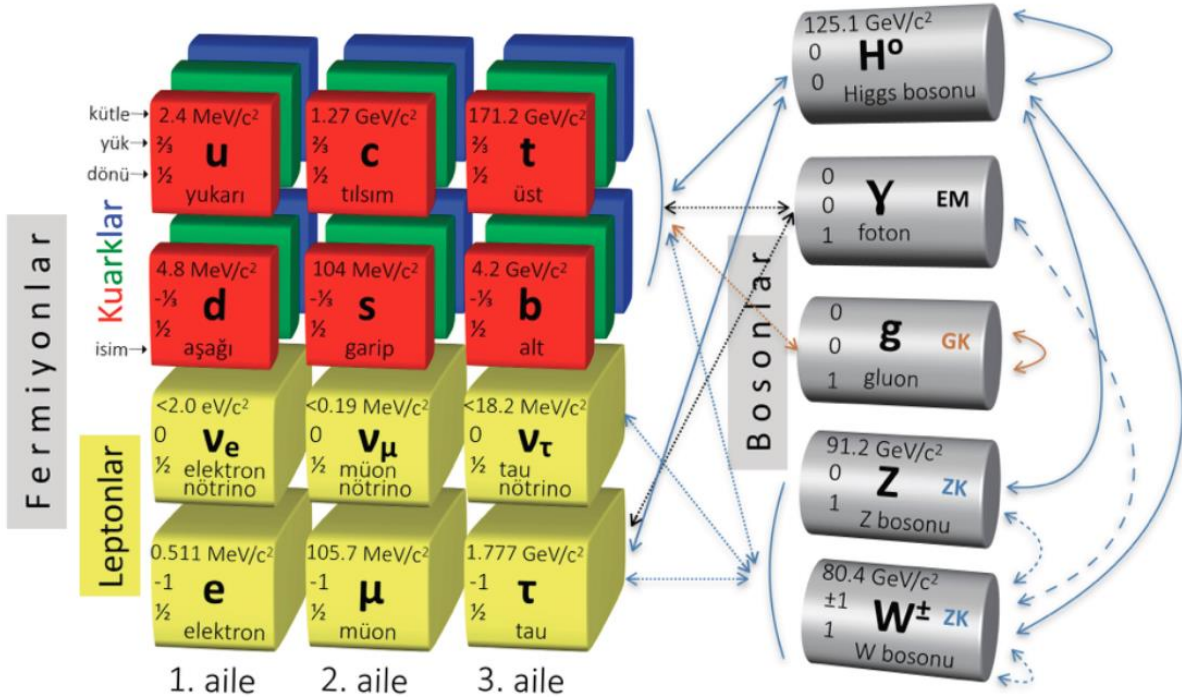
CERN Türk Öğretmenler Çalıştayı  
26 Haziran – 1 Temmuz 2016



# Standart Model'de kütle sorunu

Madde parçacıkları

Etkileşim  
aracıları



Parçacıklara **kütlesini veren** nedir?

Neden farklı parçacıklar **farklı kütlelere** sahiptirler?

# Peki kütle nedir?

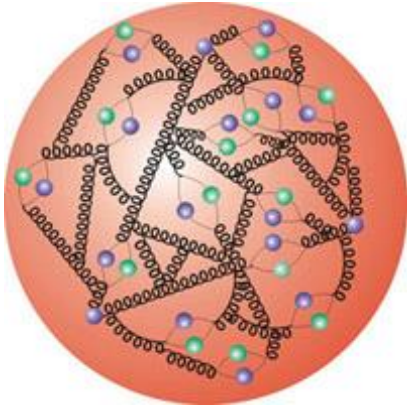
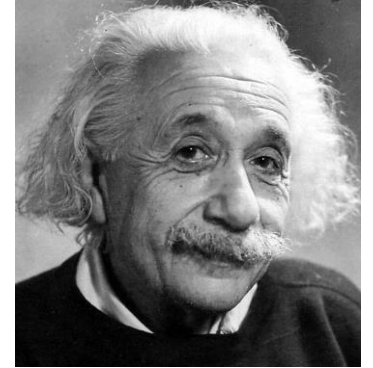
Newton'a göre: "Madde miktarı"

$F = ma \rightarrow$  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:** Uzay-zamanın her noktasında bir değere sahip olan bir olgudur.

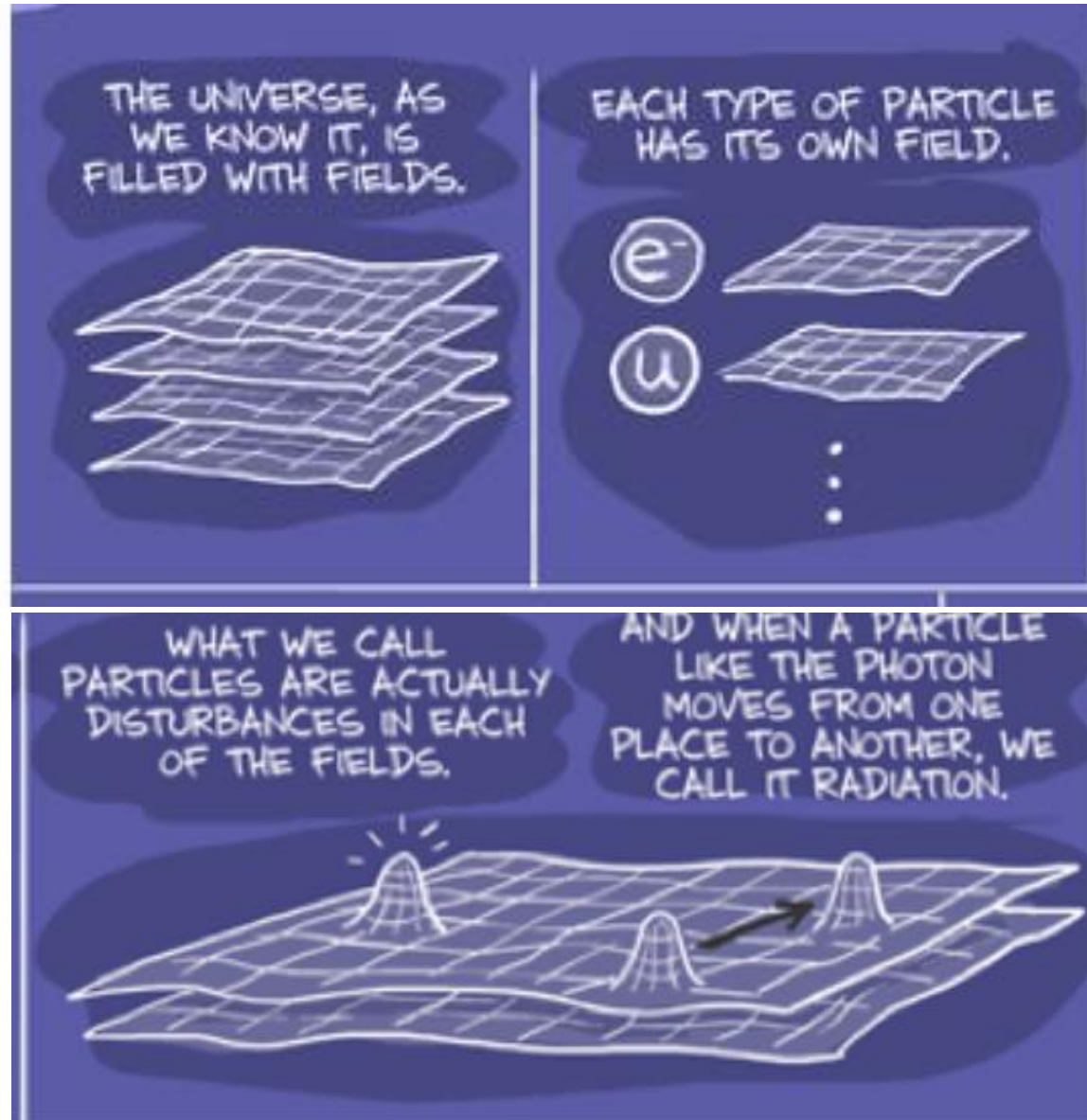
Ölçtüğümüzde varolan şeydir.

**Parçacık:** Alandaki enerji tanecikleridir / *kuantumlarıdır*.

Ölçmediğimizde varolan şeydir.



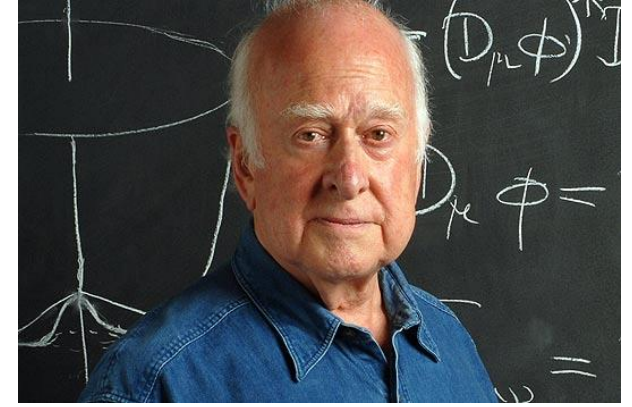
# Alanlar ve parçacıklar



# 1964 Higgs devrimi

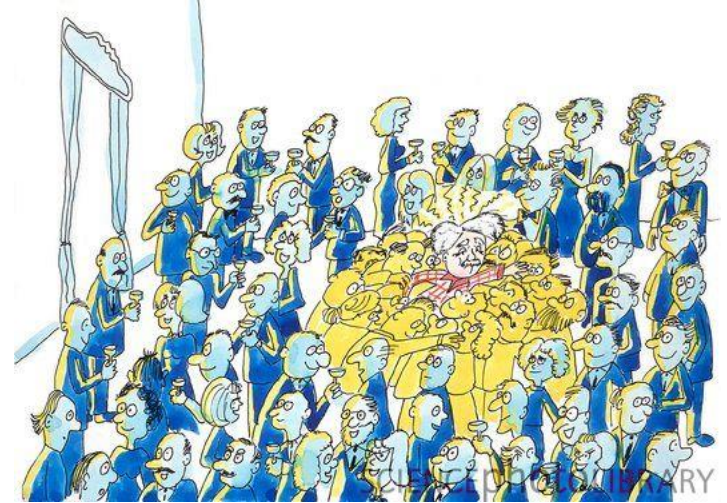
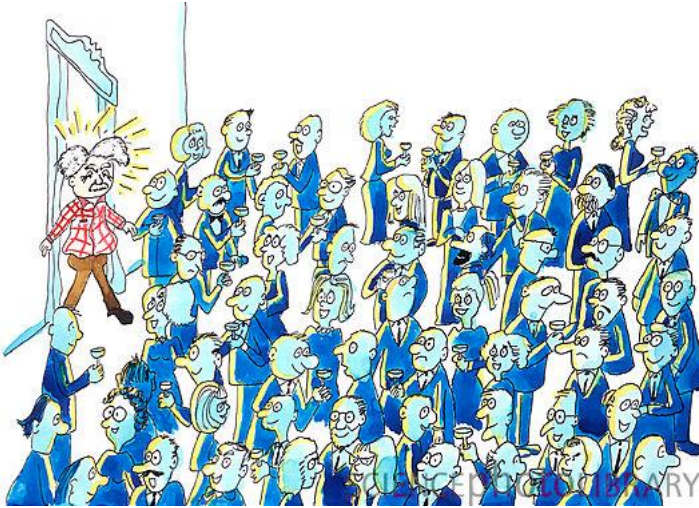


Kibble, Guralnik, Hagen, Englert, Brout

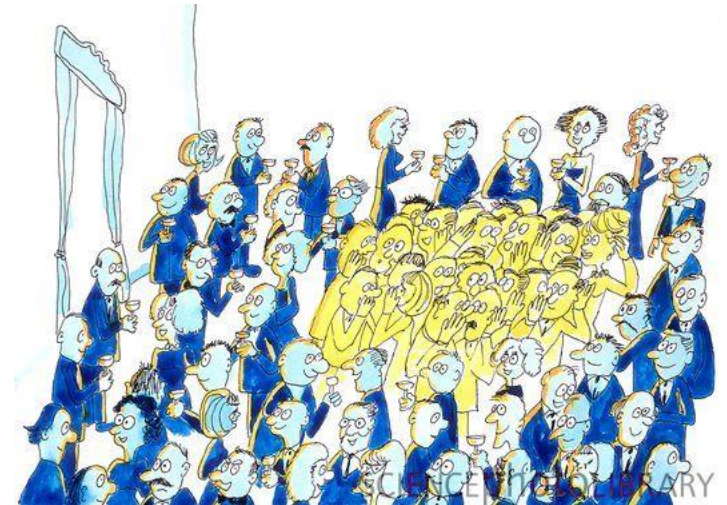
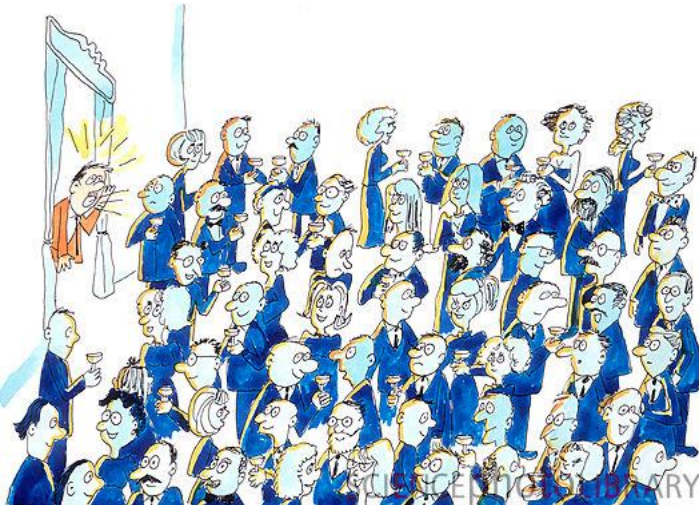


- Parçacıklar Higgs alanı ile etkileşince kütle kazanırlar.
- Parçacıklar Higgs alanı ile ne kadar çok etkileşirlerse o kadar fazla kütle kazanırlar.
- Higgs parçacığı, Higgs alanından doğan parçacıktır.

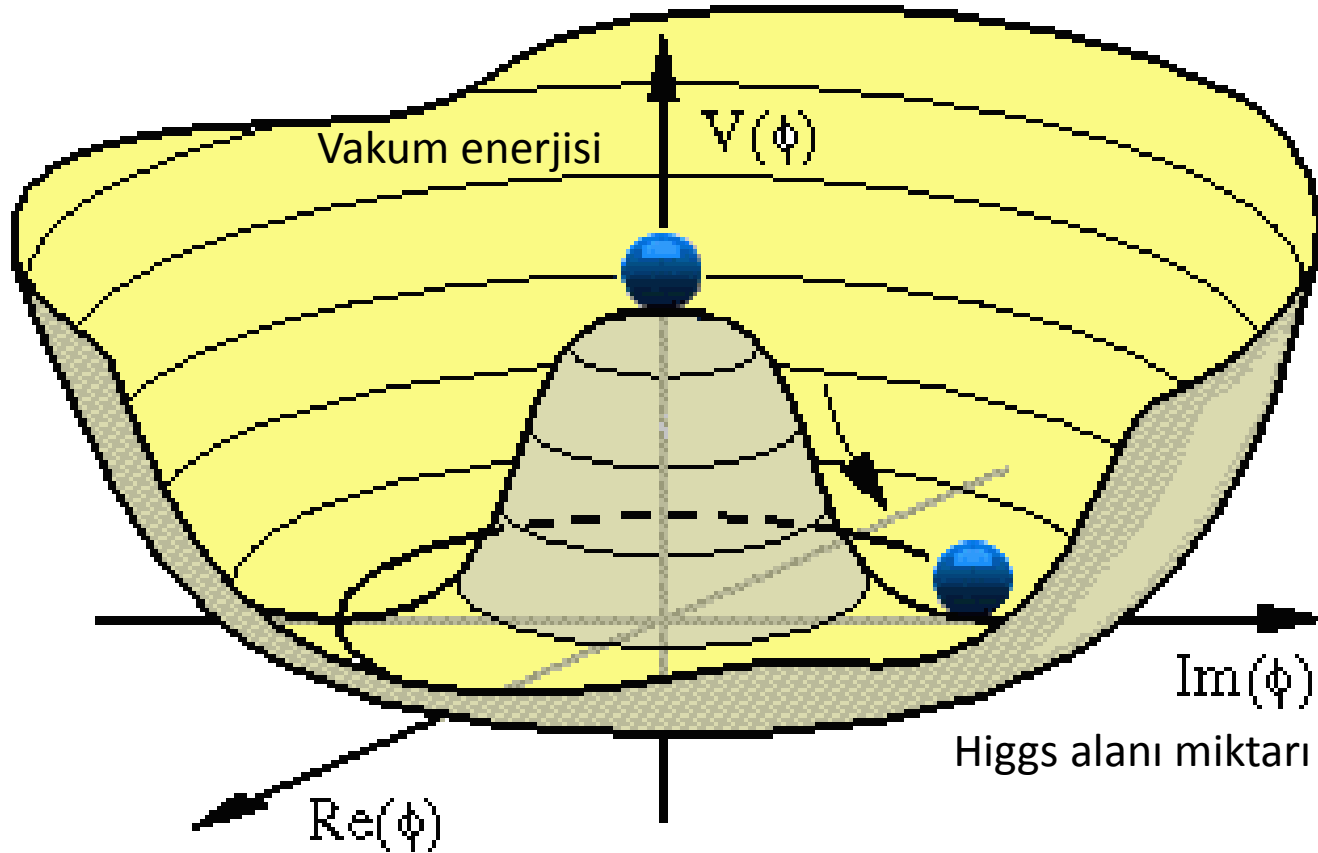
## Higgs alanında parçacıkların kütle kazanması



## Higgs alanında Higgs parçacığının oluşması



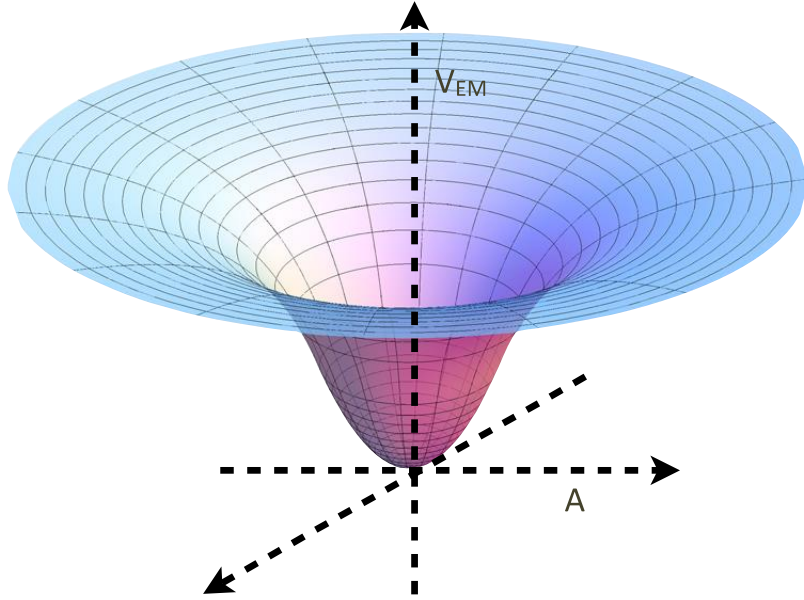
# Higgs alanı nasıl oluşur?



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

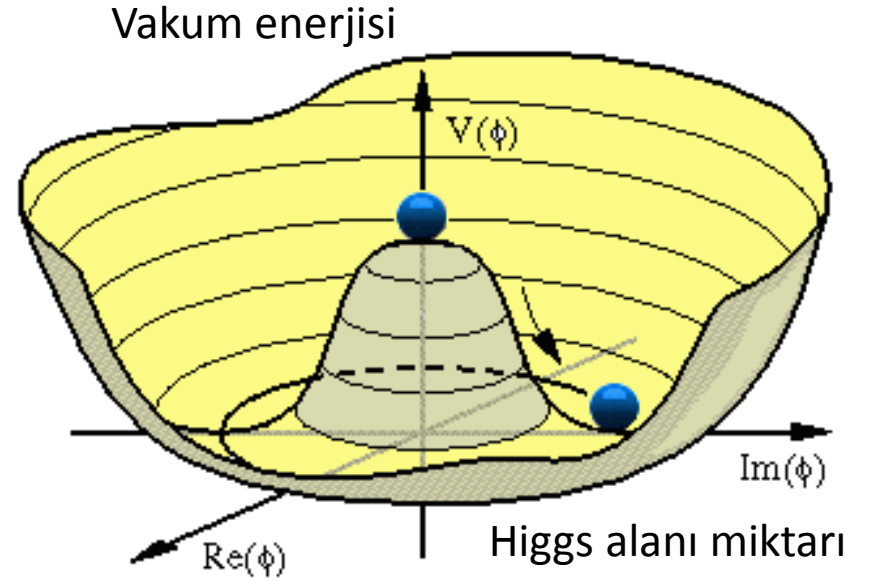


# Higgs alanının diğerklerinden farkı



## 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.

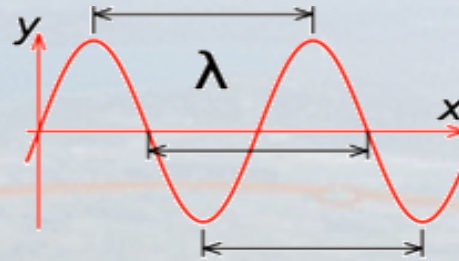


Parçacık/dalga denkliğine göre parçacıkların da dalgaboyları vardır, ve parçacığın dalgaboyu  $\lambda$  ve momentumu  $p$  ile bağlantılıdır:

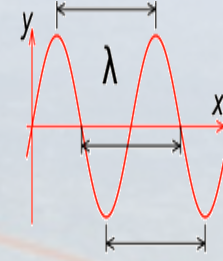
$$\lambda = h / p$$

( $h$ : Planck sabiti)

Momentumu (= enerjisi) arttırılan parçacığın dalga boyu azalır.



düşük enerjili parçacıklar  
→ uzun dalga boyu →  
düşük çözünürlük



yüksek enerjili parçacıklar  
→ kısa dalga boyu →  
yüksek çözünürlük



# Large Hadron Collider Büyük Hadron Çarpıştırıcısı

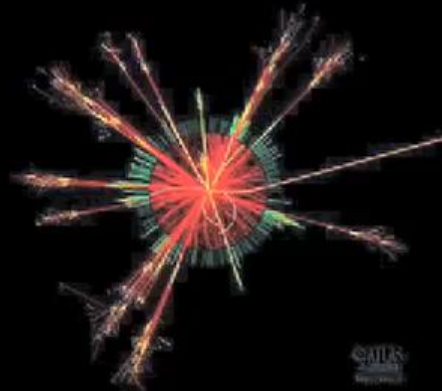
27km çevresi vardır. Enerji büyüklük ile orantılıdır. BHC protonları 14 TeV enerji ile çarpıştırır.

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

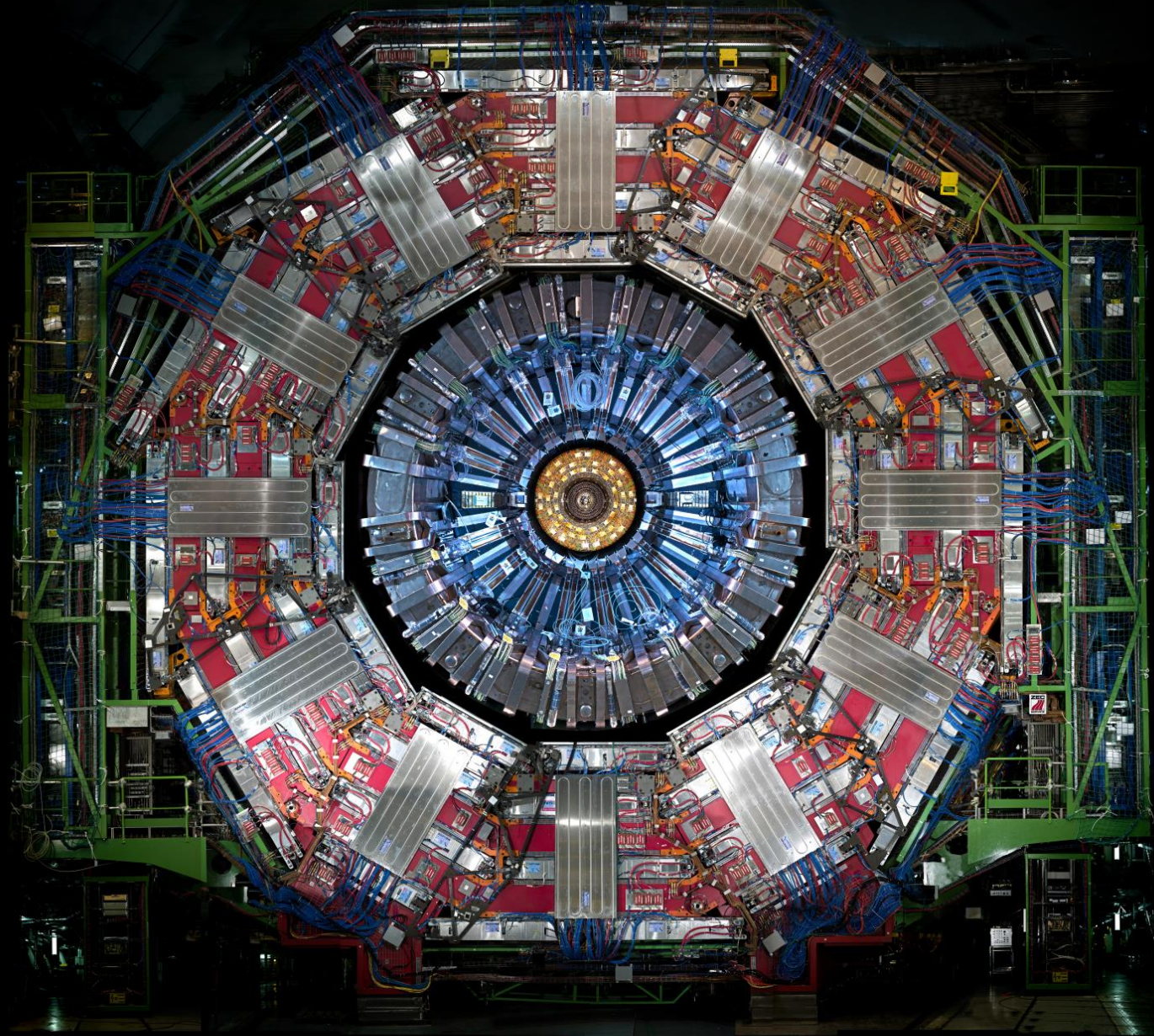
Zıt yönlerde dönen iki ışını çarpıştırır. Bu yöntemle duran bir hedefe ışın çarptırmaktan daha fazla enerji elde edilir.

## Proton-proton Collision in the ATLAS Experiment

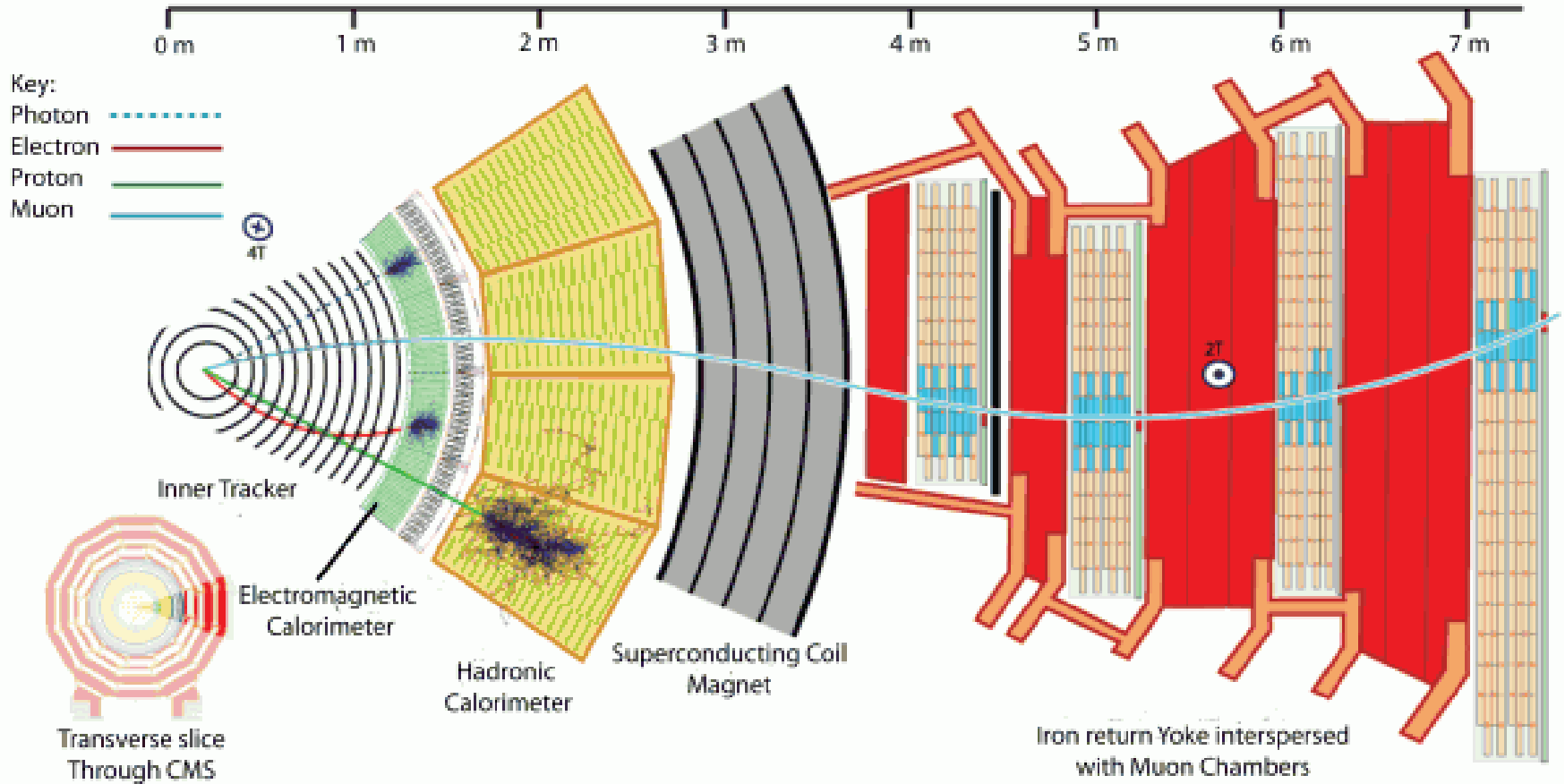
Production of the Higgs particle decaying to two  $Z^0$  particles



# 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.

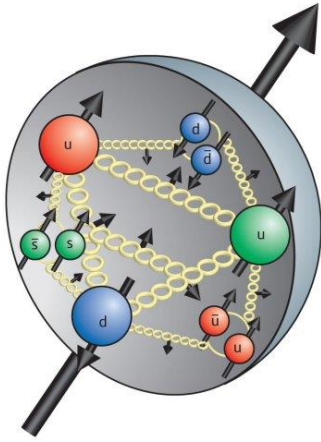
sürdü!

- 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!

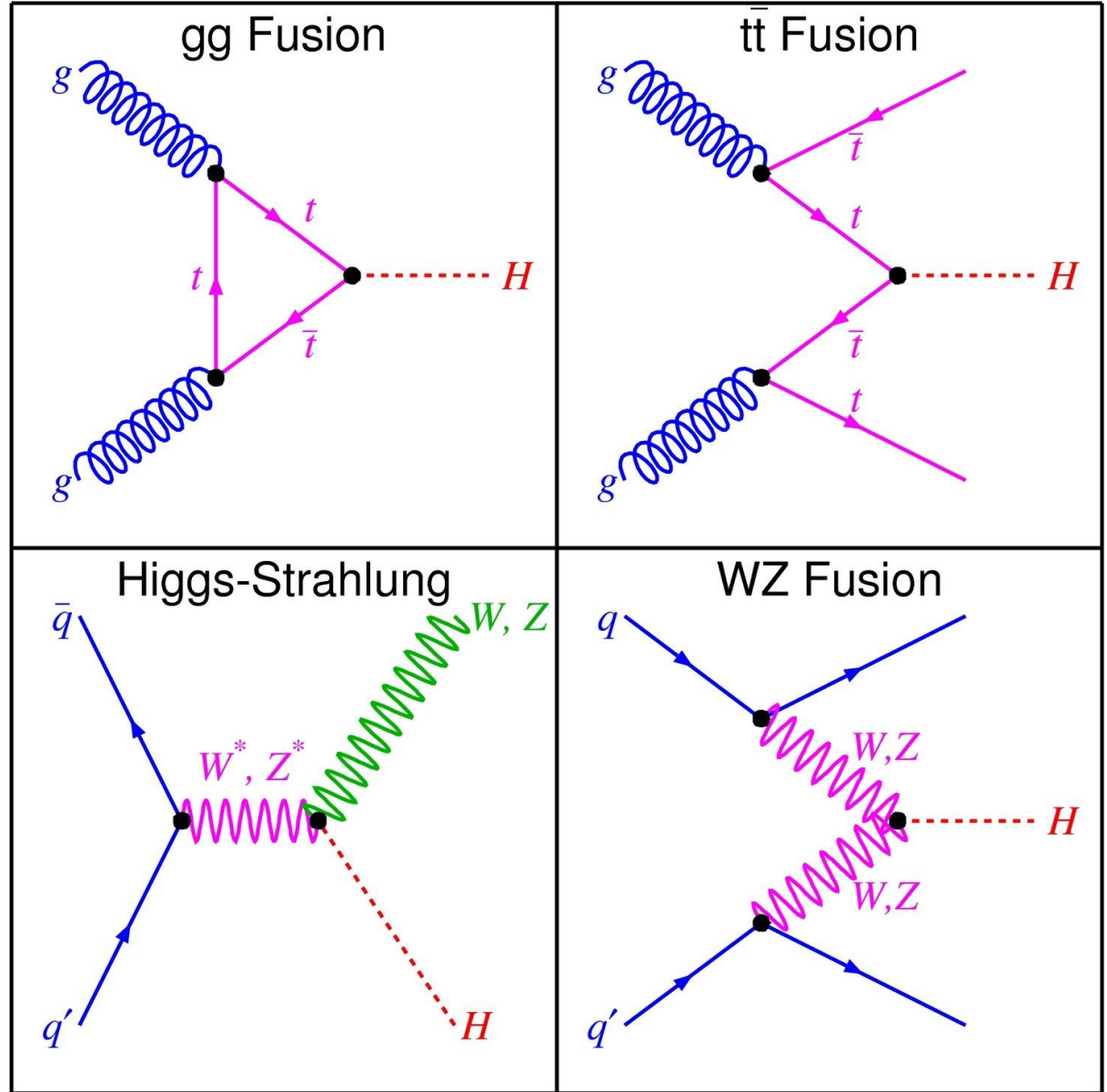
Standart Model'de **Higgs kütlesi** bilindiđi zaman Higgs'in bütün diğer özellikleri de yüksek kesinlikle hesaplanır.



# 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?

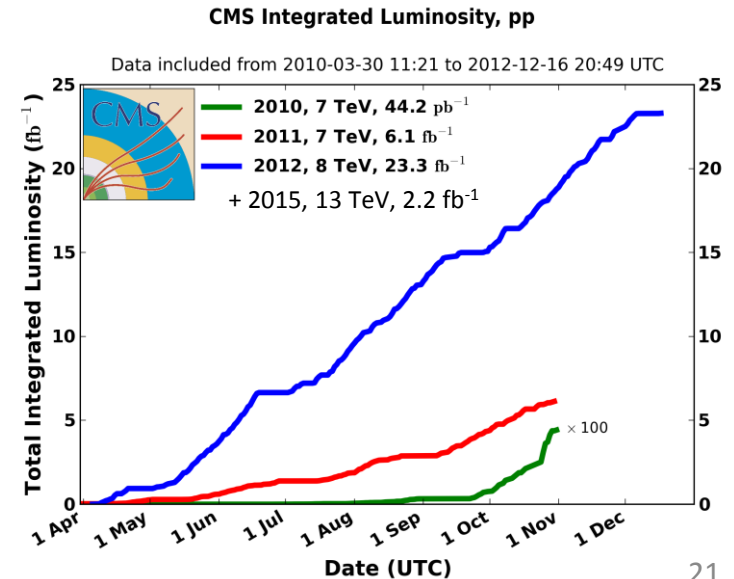
- Belli bir parçacık etkileşiminin hangi olasılıkla meydana geleceğini gösteren niceliğe **tesir kesiti** ( $\sigma$ ) denir.
  - Tesir kesiti **alan birimleri** ile ölçülür (**barn** ( $10^{-28}\text{m}^2$ ), **pikobarn**, **femtobarn**).
  - Tesir kesiti, etkileşimde yeralan parçacıkların cinsine,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

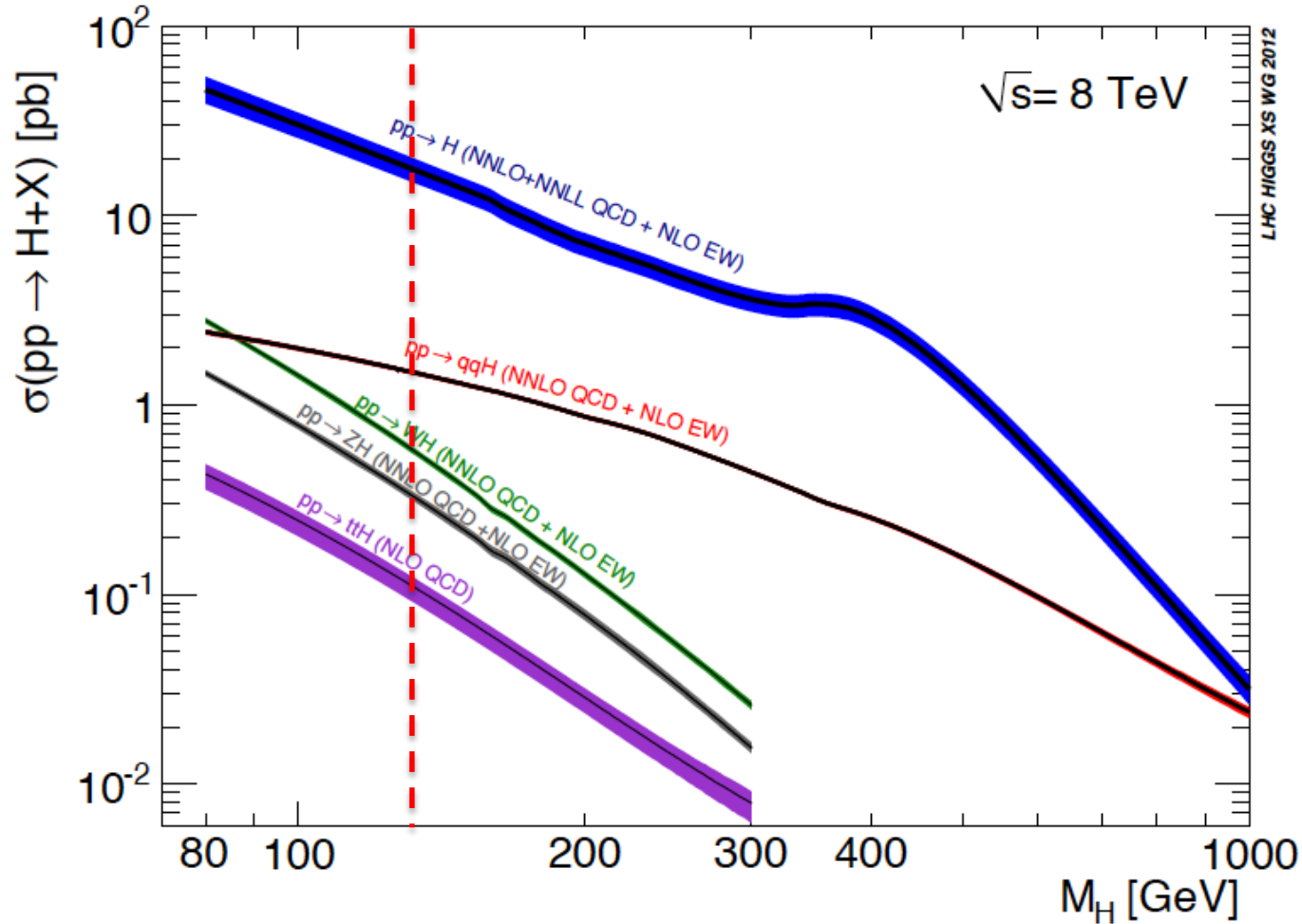
- LHC'de oluşan etkileşim sayısı  $N$

$$N = \sigma \times L$$

şeklinde hesaplanır.



# LHC'de ne kadar Higgs oluşur?

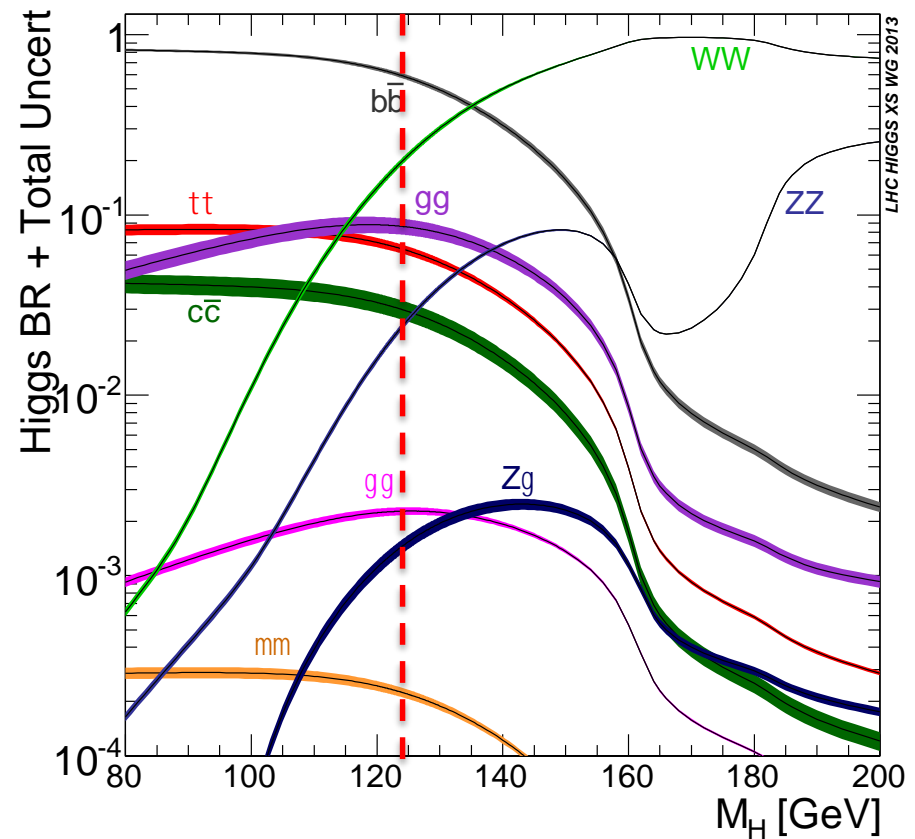
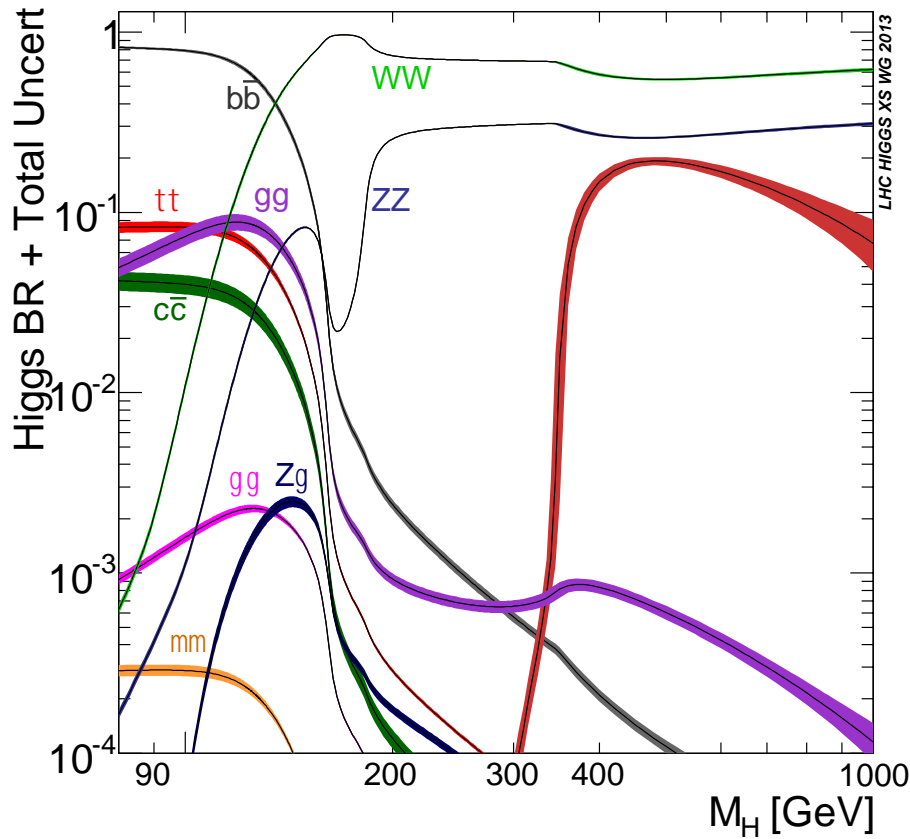


BHÇ'de 8TeV run'da kaç Higgs oluştuğunu hesaplamak için y eksenindeki tesir kesiti değerini  $20000 \text{ pb}^{-1}$  ışınlık ile çarpın.

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

# Higgs nasıl bozunur?

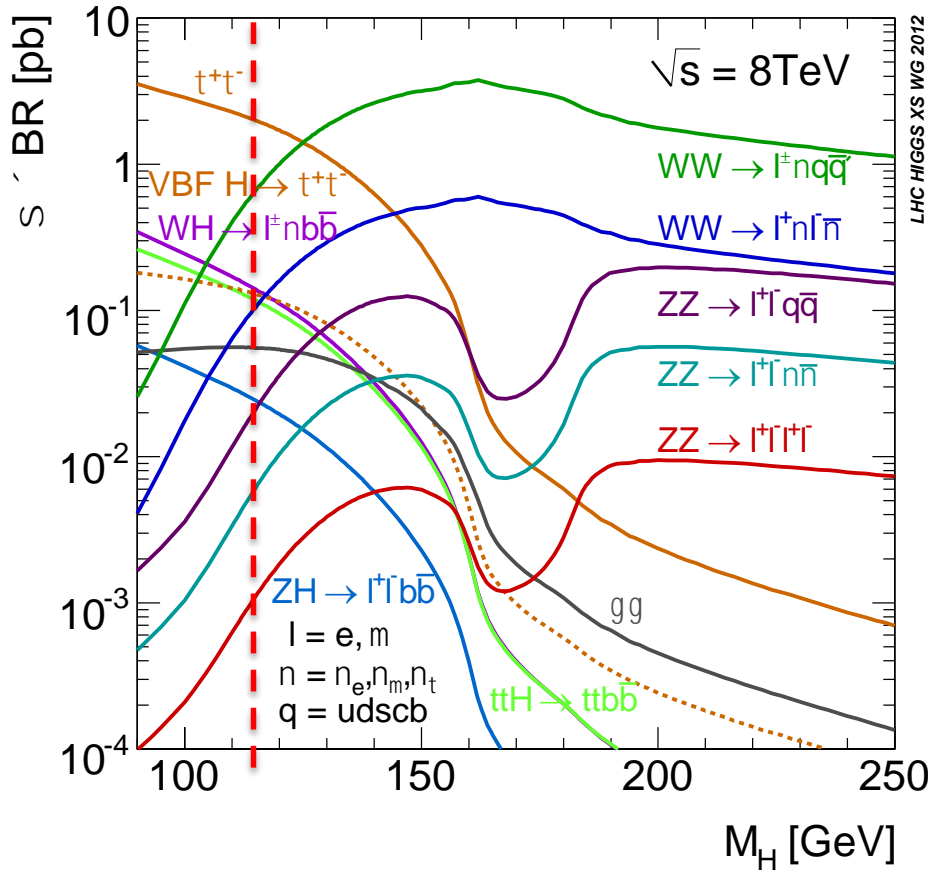
- Higgs'in ömrü  $10^{-22}$  saniyedir, ve hemen kendinden hafif parçacıklara bozunur. Bu bozunma farklı şekillerde gerçekleşir.
- Higgs'in belli bir son duruma bozunma olasılığına dallanma oranı (BR) denir.



# 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.

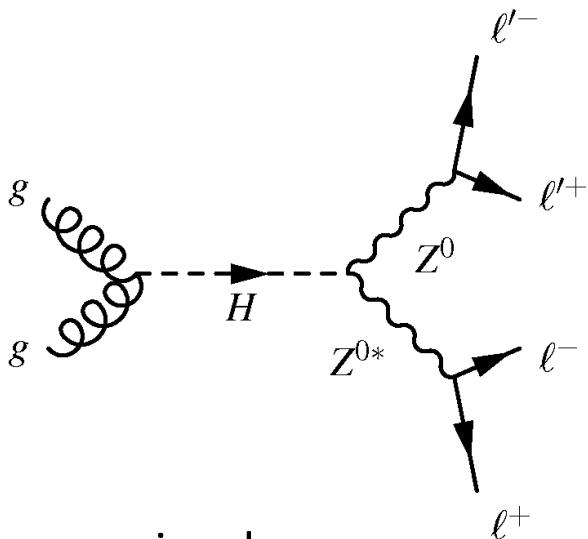
- $\sigma \times BR$  ne kadar yüksekse o kadar çok Higgs'li olay göreceğiz demektir.
- Ayrıca son durumda çıkan parçacıkları algın ne hassaslıkla algıladığına dikkat etmeliyiz.

ANCAK...

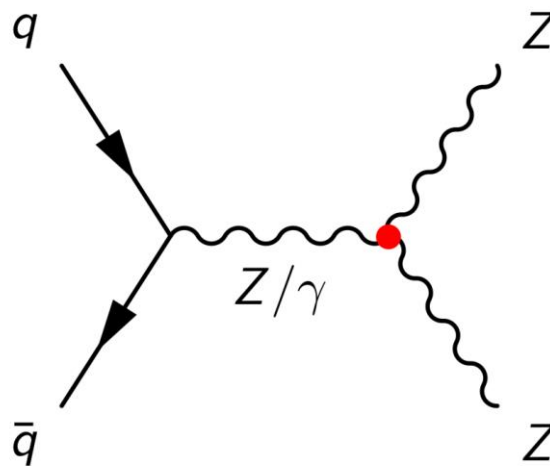
LHC'de 8TeV veri alımında kaç Higgs oluştuğunu hesaplamak için y eksenindeki tesir kesiti değerini  $20000 \text{ pb}^{-1}$  ışınlık ile çarpın.

# 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:

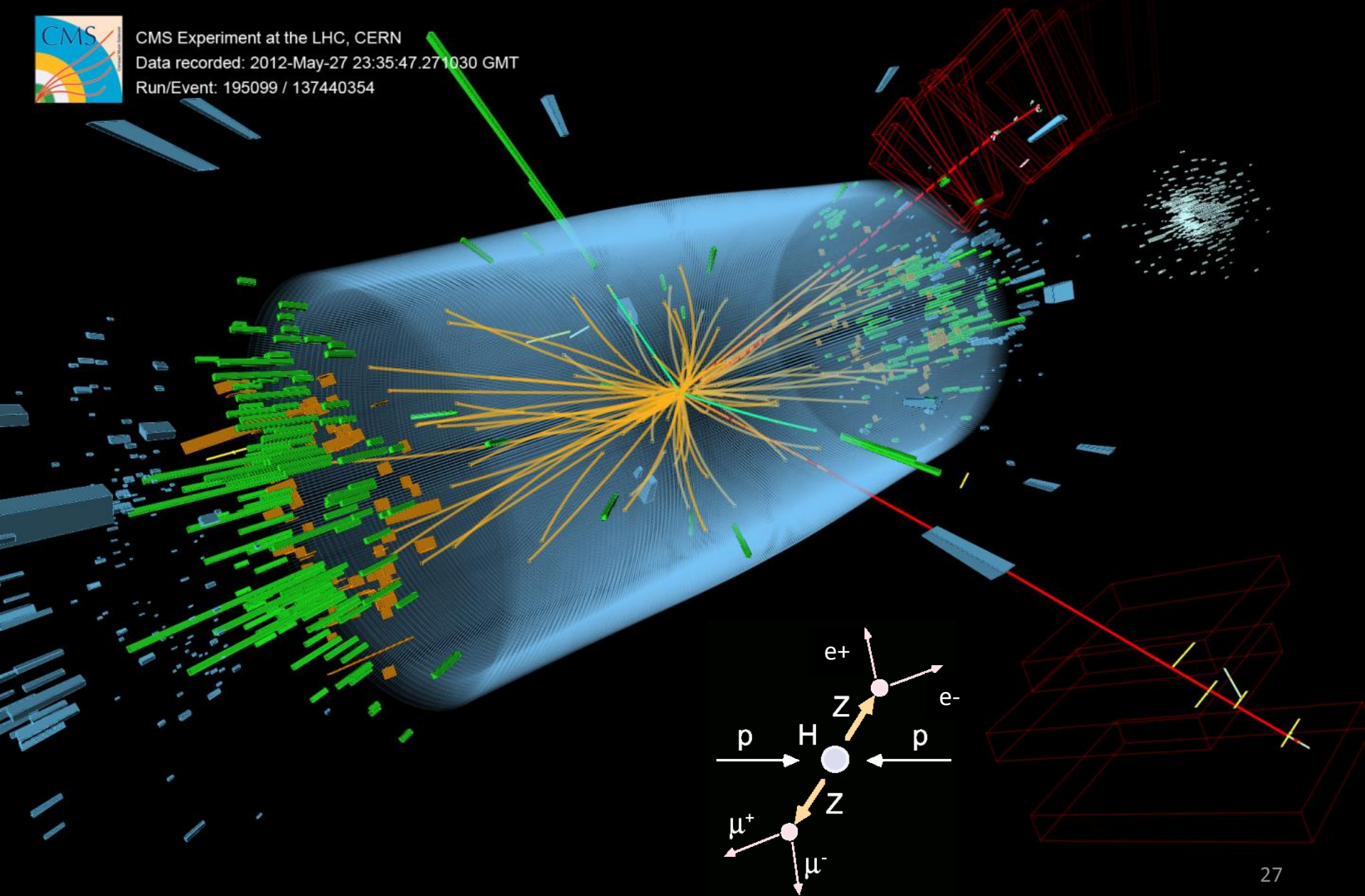
$$m^2 = \left( \sum_{i=0}^n E_i \right)^2 - \left| \sum_{i=0}^n \vec{p}_i \right|^2$$

- 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

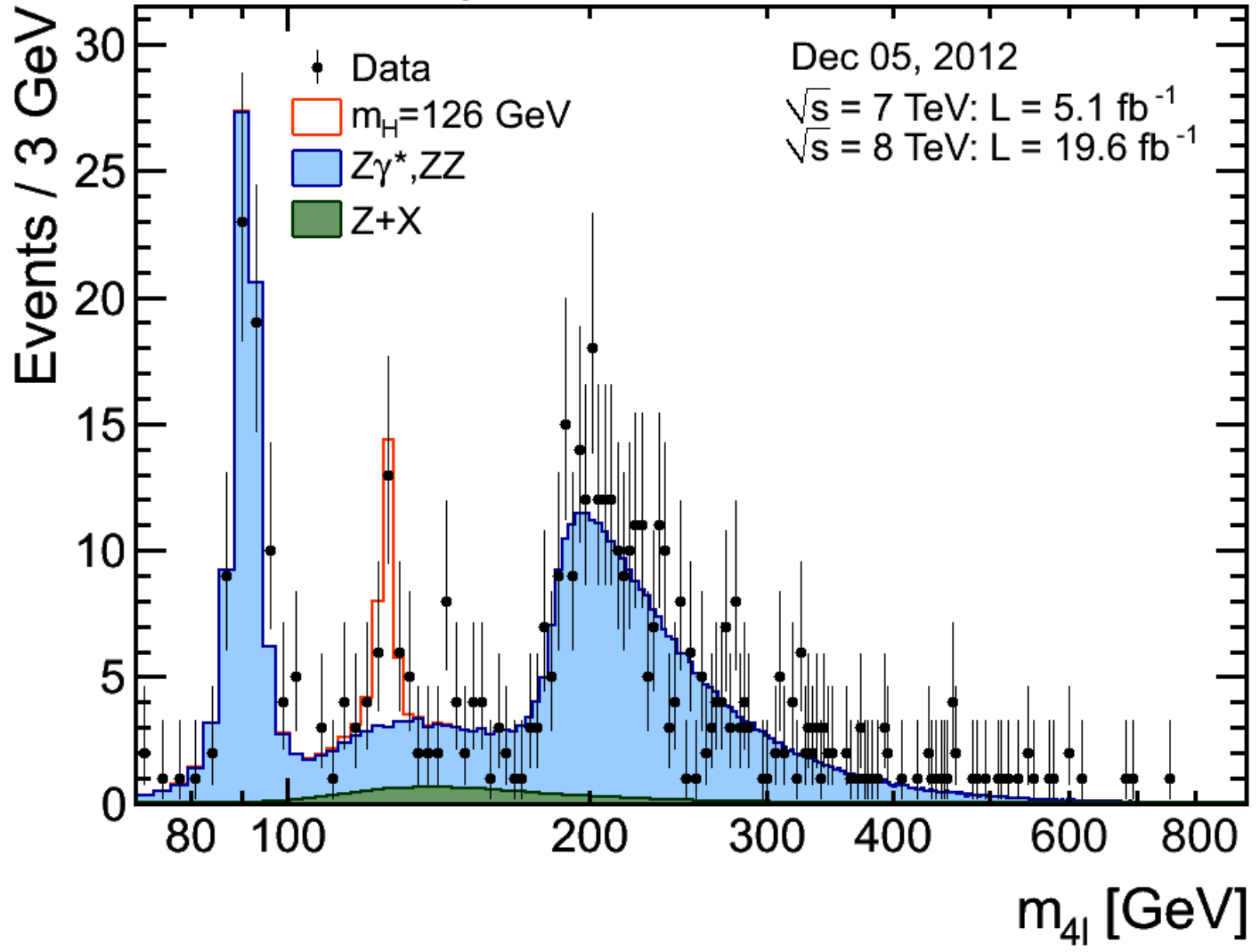


CMS Experiment at the LHC, CERN  
Data recorded: 2012-May-27 23:35:47.271030 GMT  
Run/Event: 195099 / 137440354

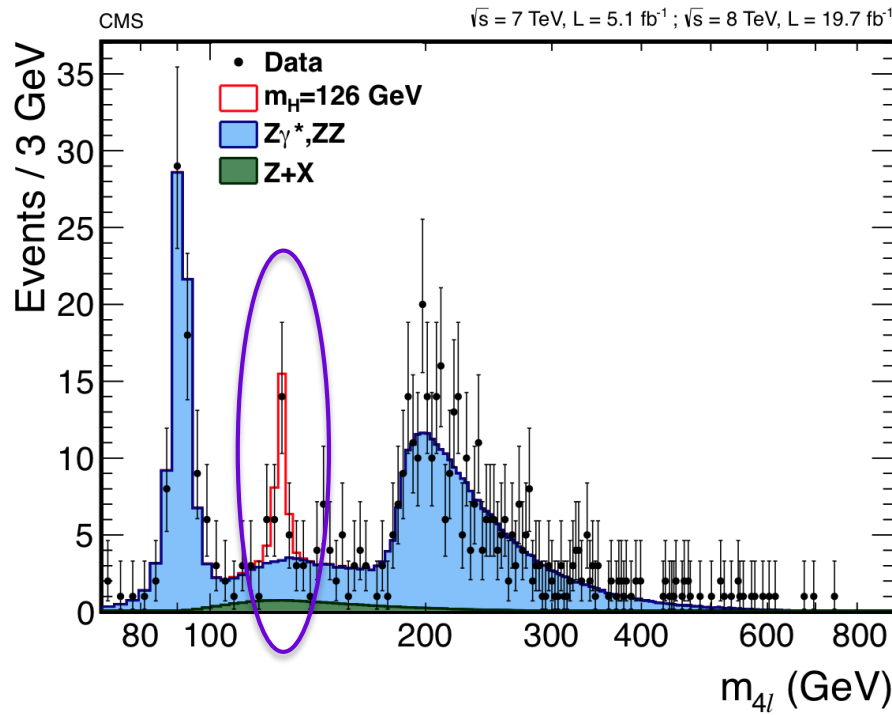




CMS Preliminary

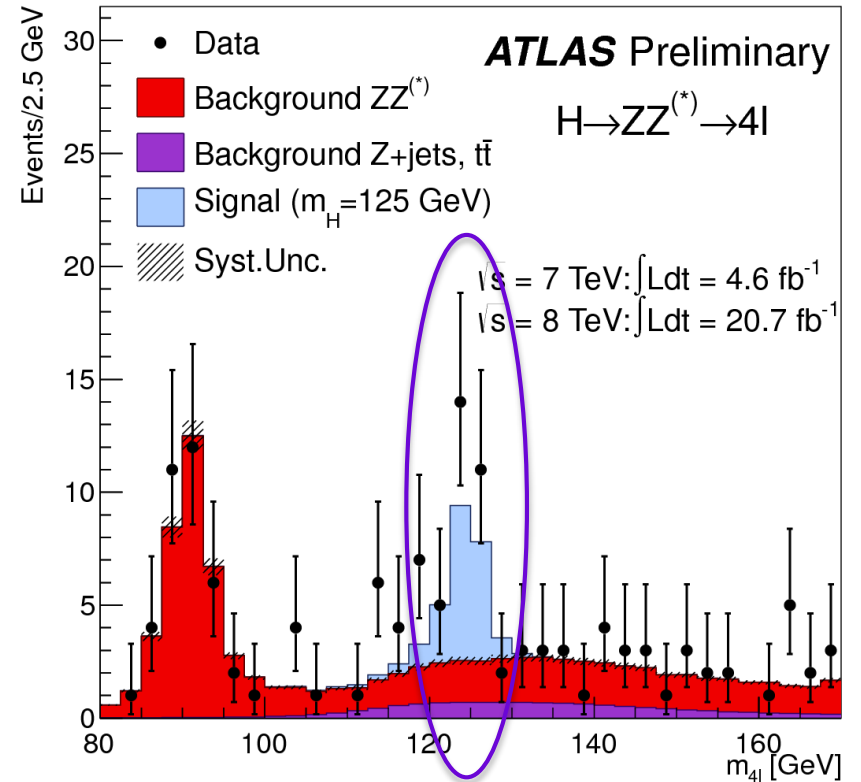


# $h \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$ kanalında gözlem

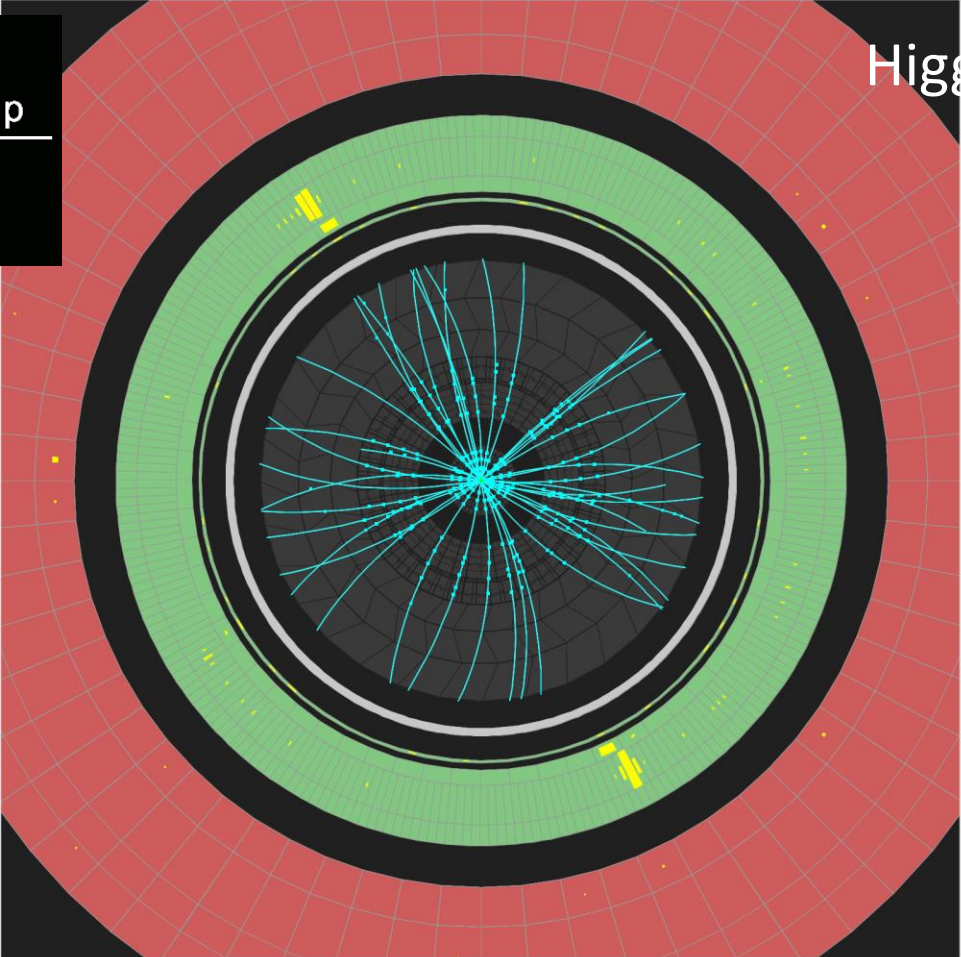
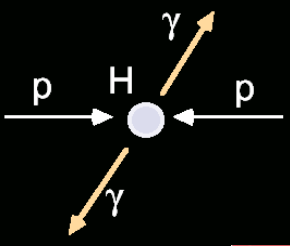


Ancak değişmez kütle hep 126 değildir. 126'in etrafında bir dağılım gösterir. Bu dağılımın en önemli sebebi algıç çözünürlüğünün mükemmel olmamasıdır. Ölçümdeki belirsizlik Higgs kütle dağılımına yansır.

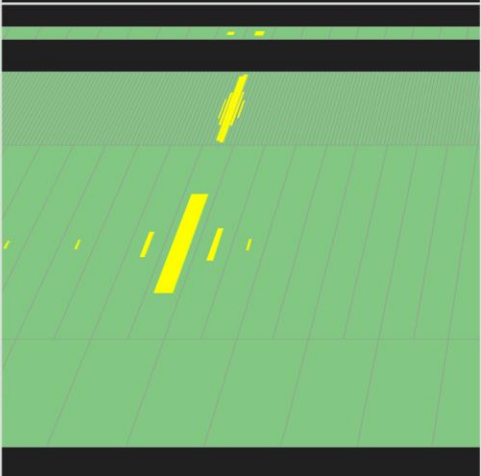
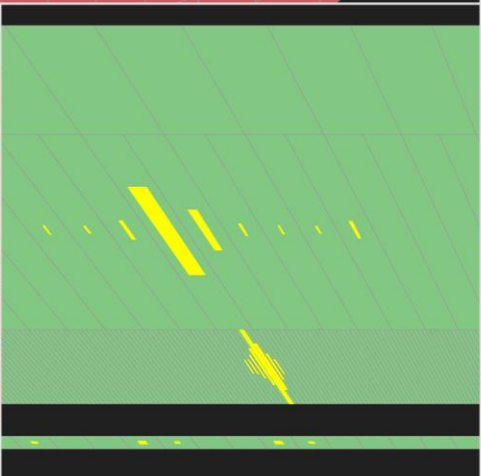
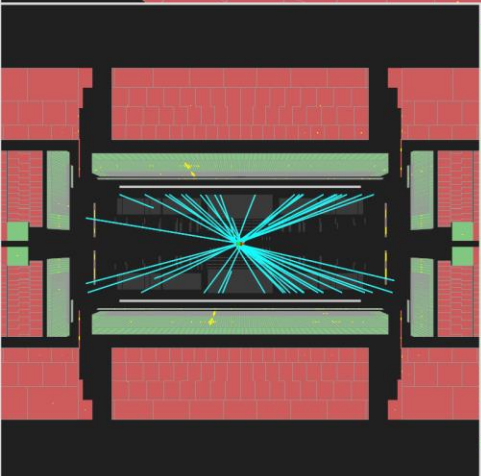
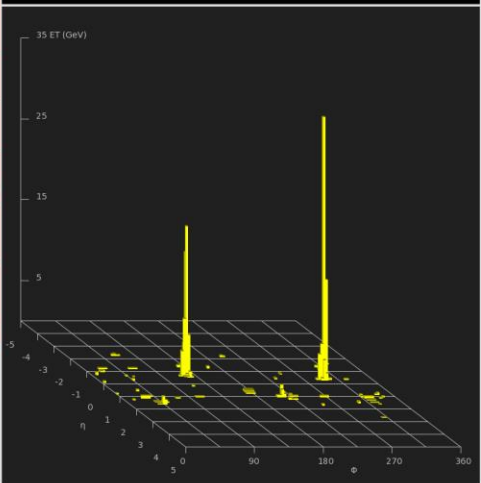
126 GeV değişmez kütlede veri noktaları ile beklenen SM ardalan arasında bir fark gözlenmektedir. Bu fark Higgs sinyali ile açıklanır.



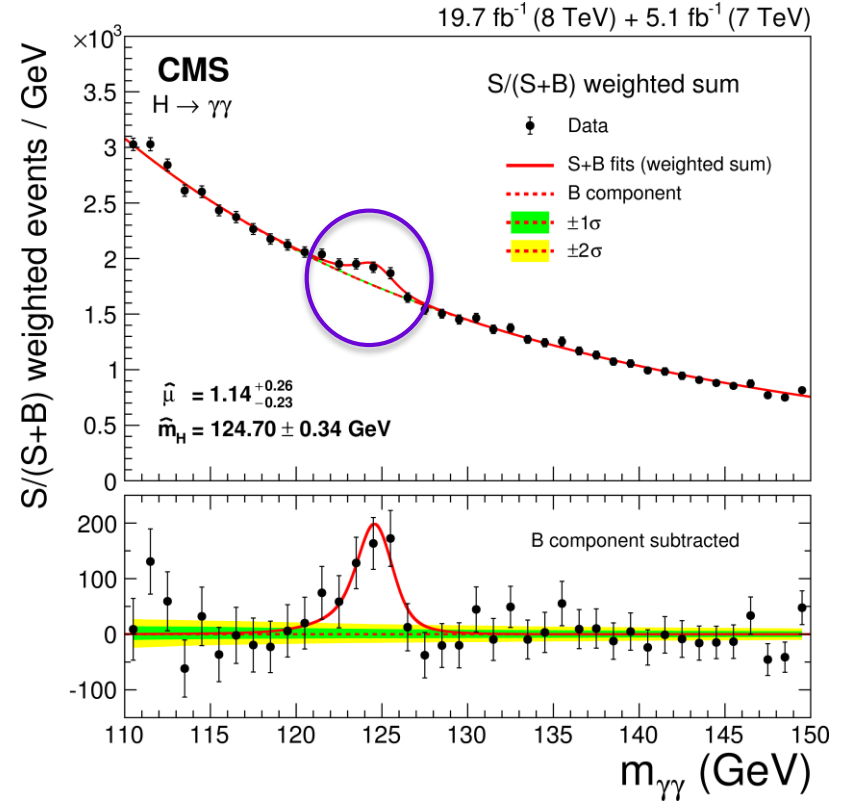
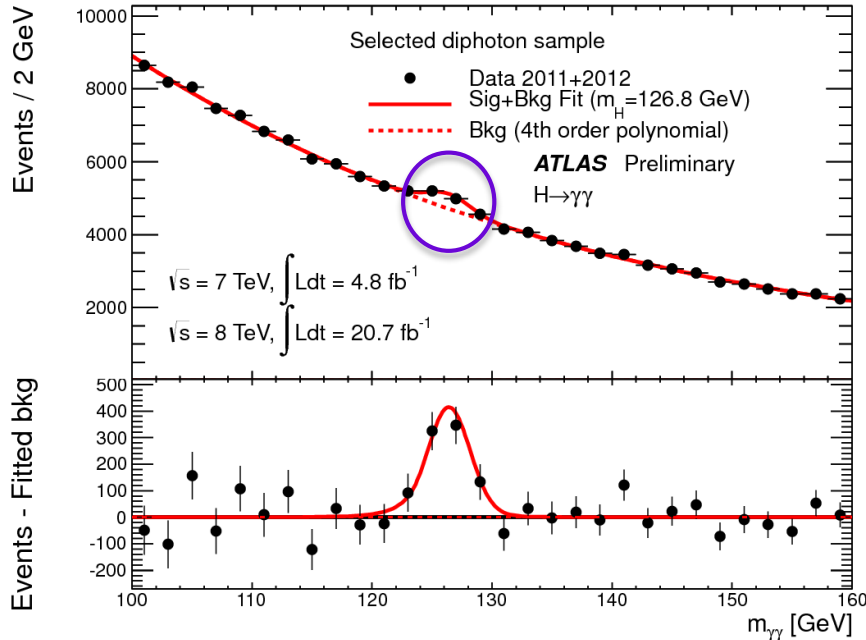
# Higgs $\rightarrow$ 2photon olayı



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.

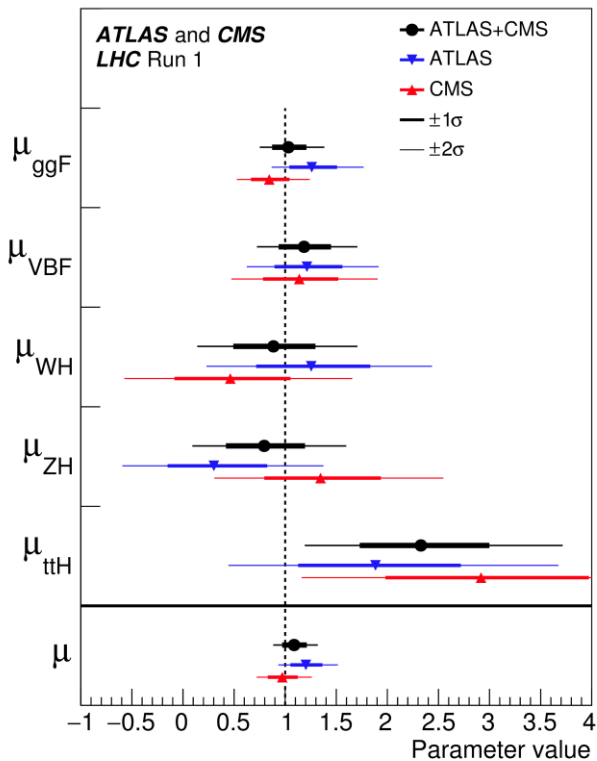
# Higgs Standart Model'e ne kadar uygun? - I

Bir kanal için  **sinyal gücü**:

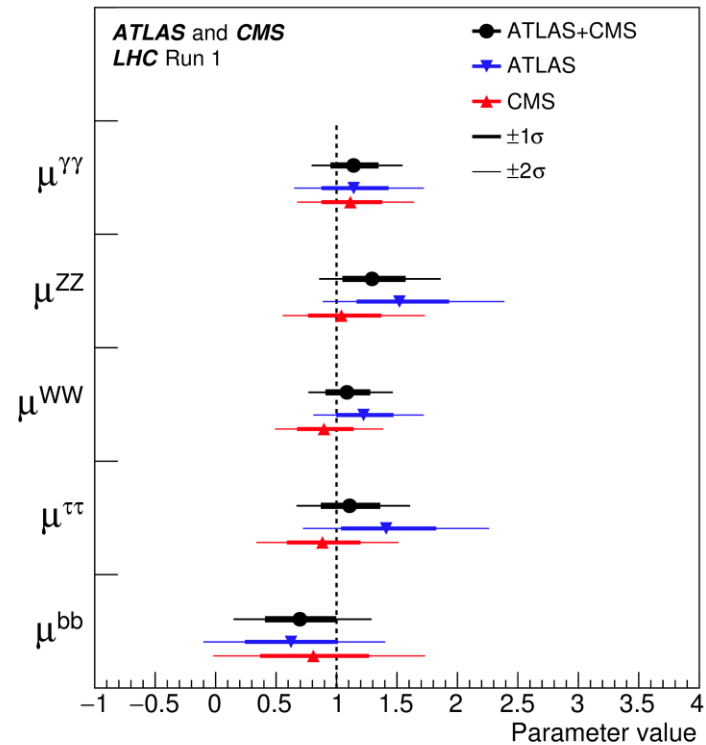
$$\mu = \frac{\text{Gozlenen Higgs olayi sayisi}}{\text{SMde beklenen Higgs olayi sayisi}}$$

$\mu = 0$ : Higgs yok  
 $\mu = 1$ : Higgs SM ile uygun

Tesir kesitleri



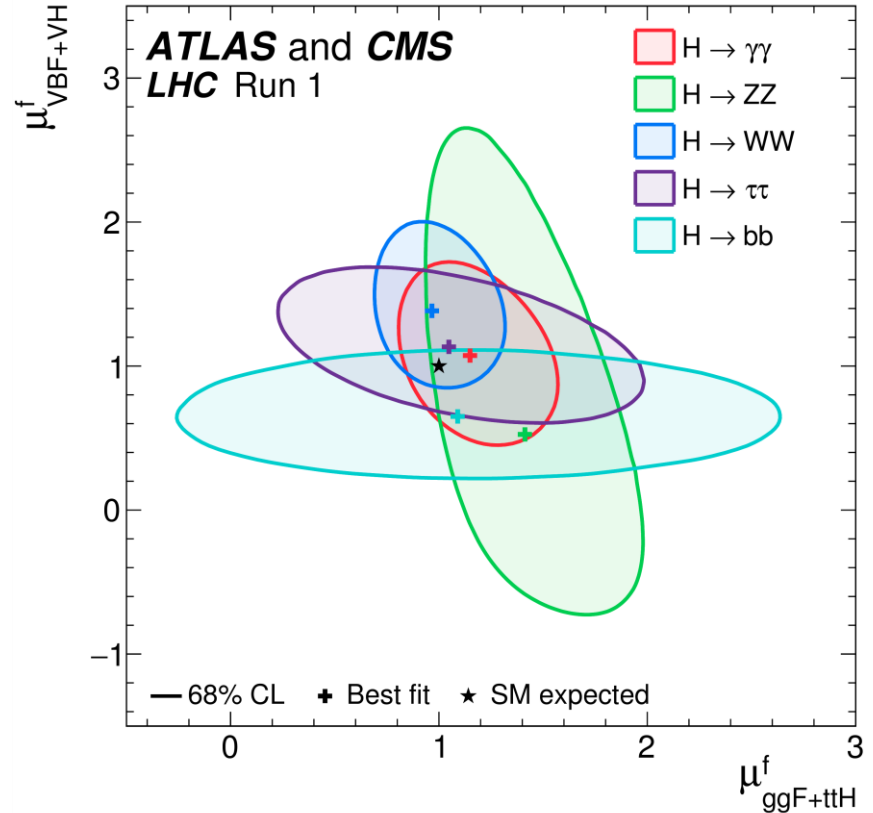
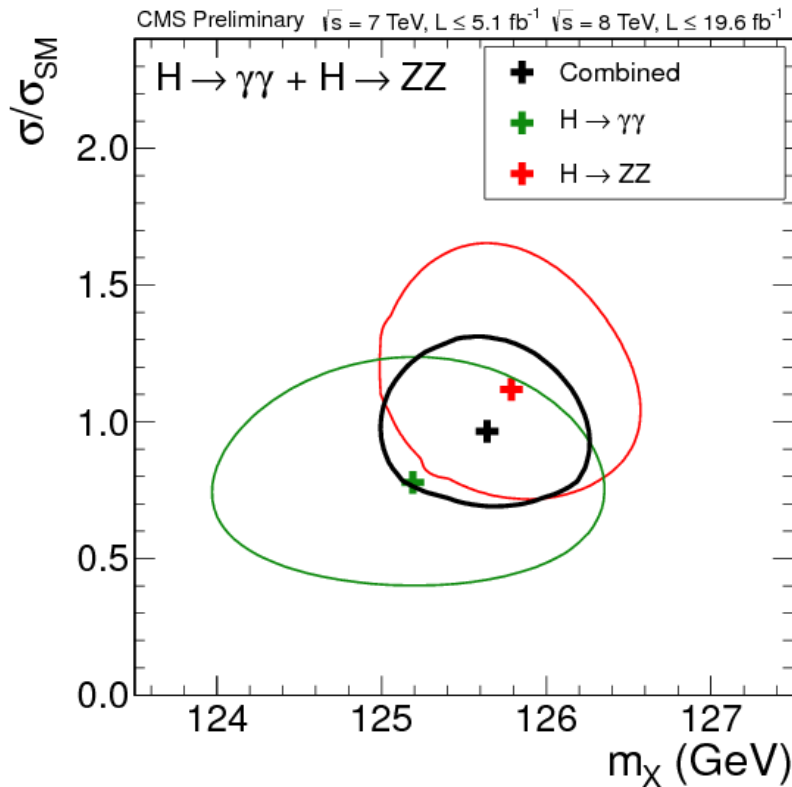
Dallanma oranları



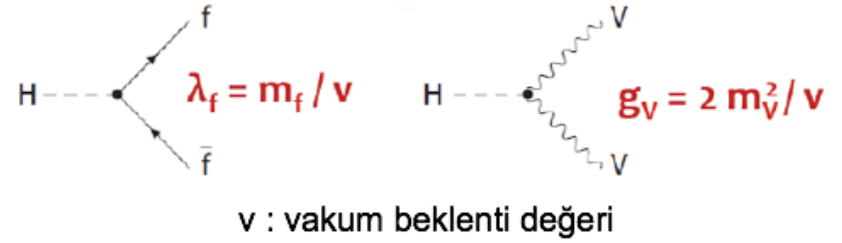
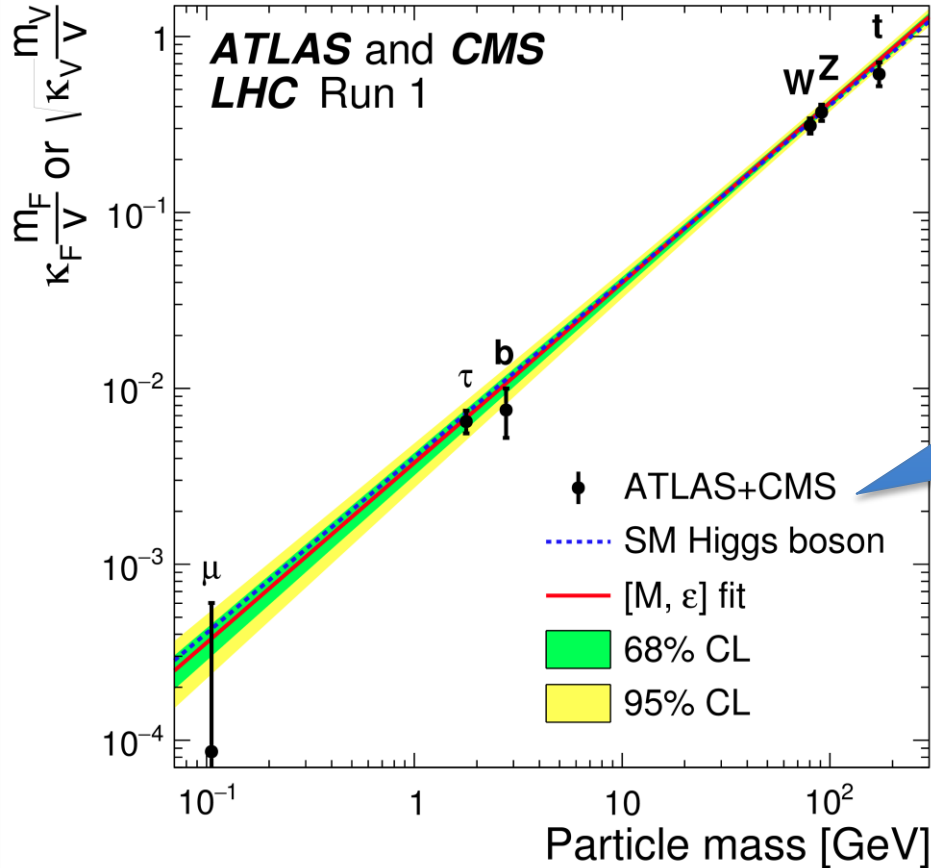
# Higgs Standart Model'e ne kadar uygun? - II

Sinyal gücü ve Higgs kütlesini 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 mavı çizgiler deney ölçümünü, düz çizgi veriye oturtulmuş eğriyi, bantlar eğrideki hatayı, kesikli çizgi de SM beklentisini gösteriyor. Veri SM ile uyumlu.

Bu ölçümde görülebilecek bir sapma yeni fizige işaret olurdu!

4 Temmuz 2012, CERN, Ana salon

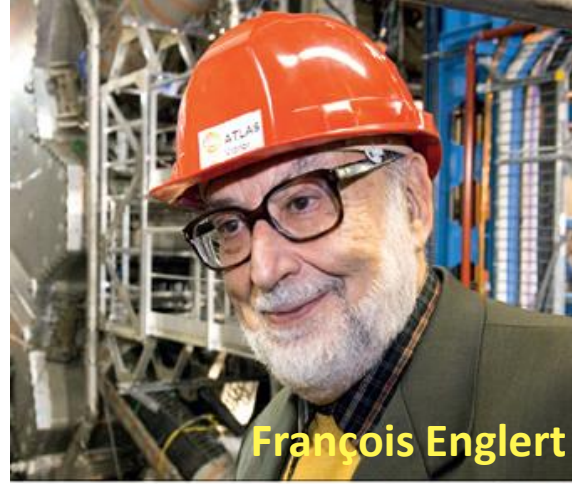




# 2013 Nobel Fizik Ödülü



*"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**

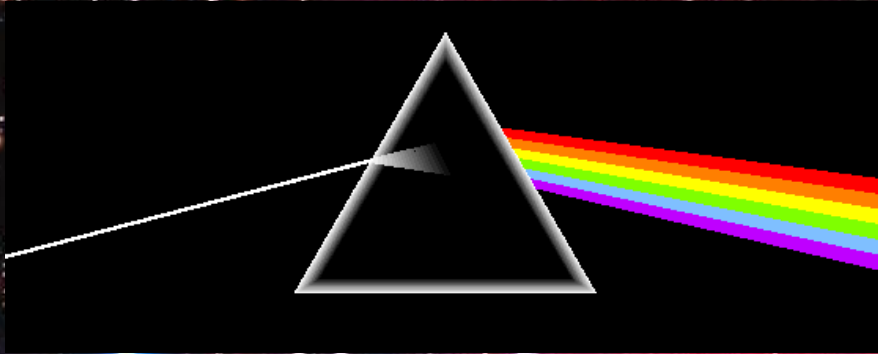


**Peter Higgs**



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.