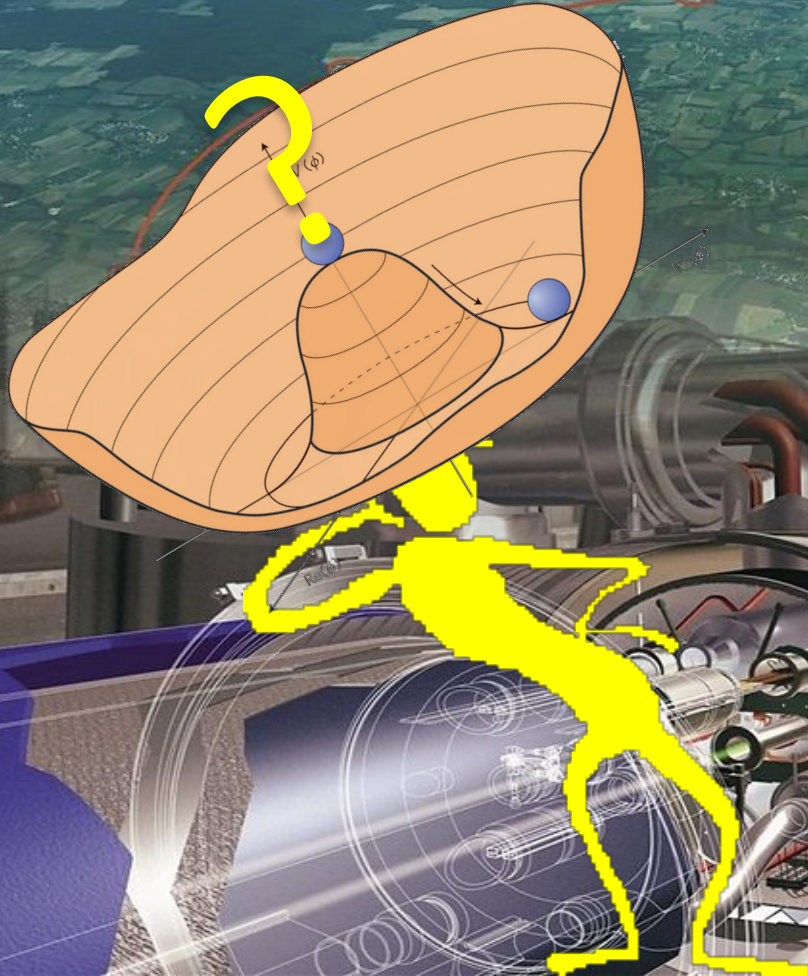




# Higgs bozonu ve Higgs buluşu

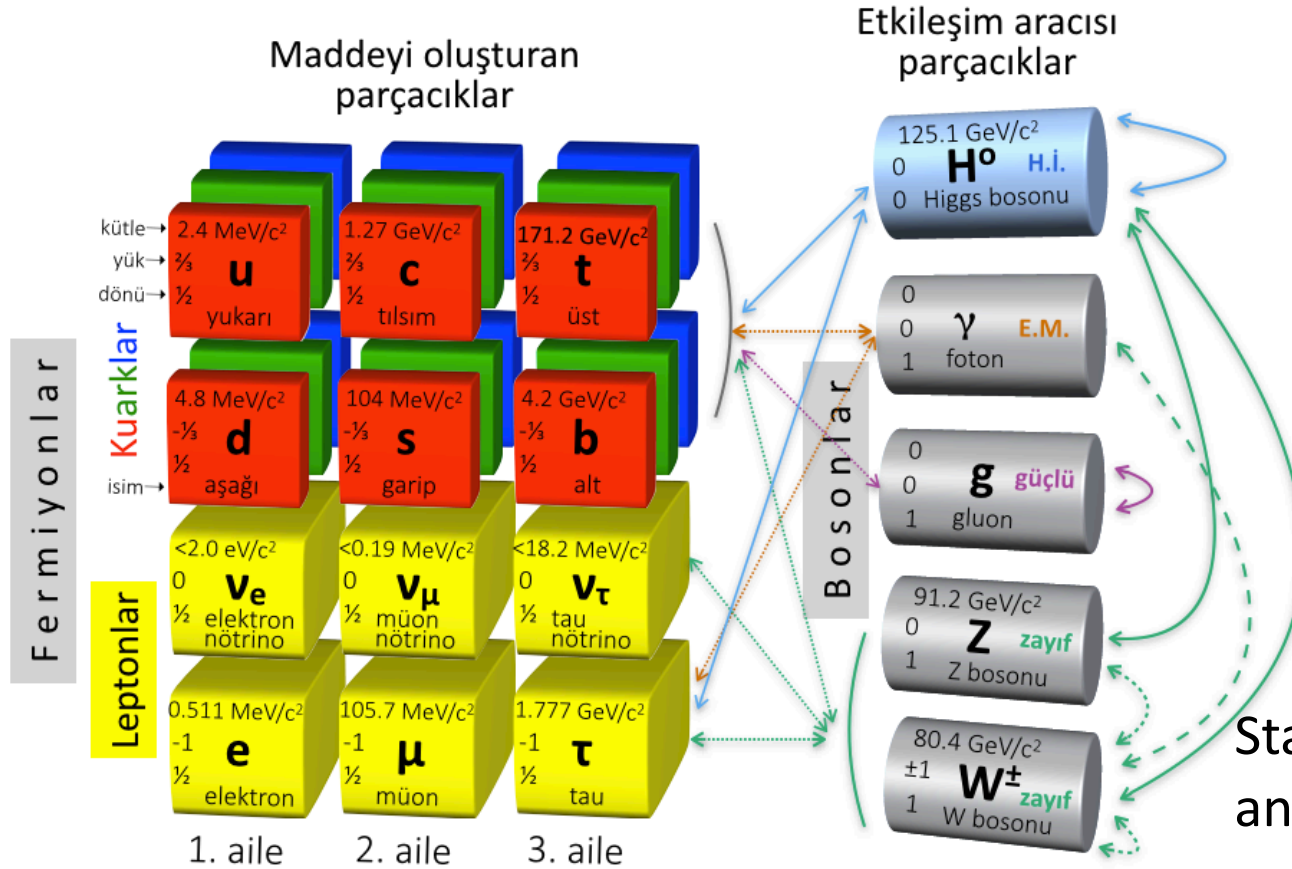
Sezen Sekmen  
TTP9, CERN

26 Ocak - 1 Şubat 2020



# Standart Model

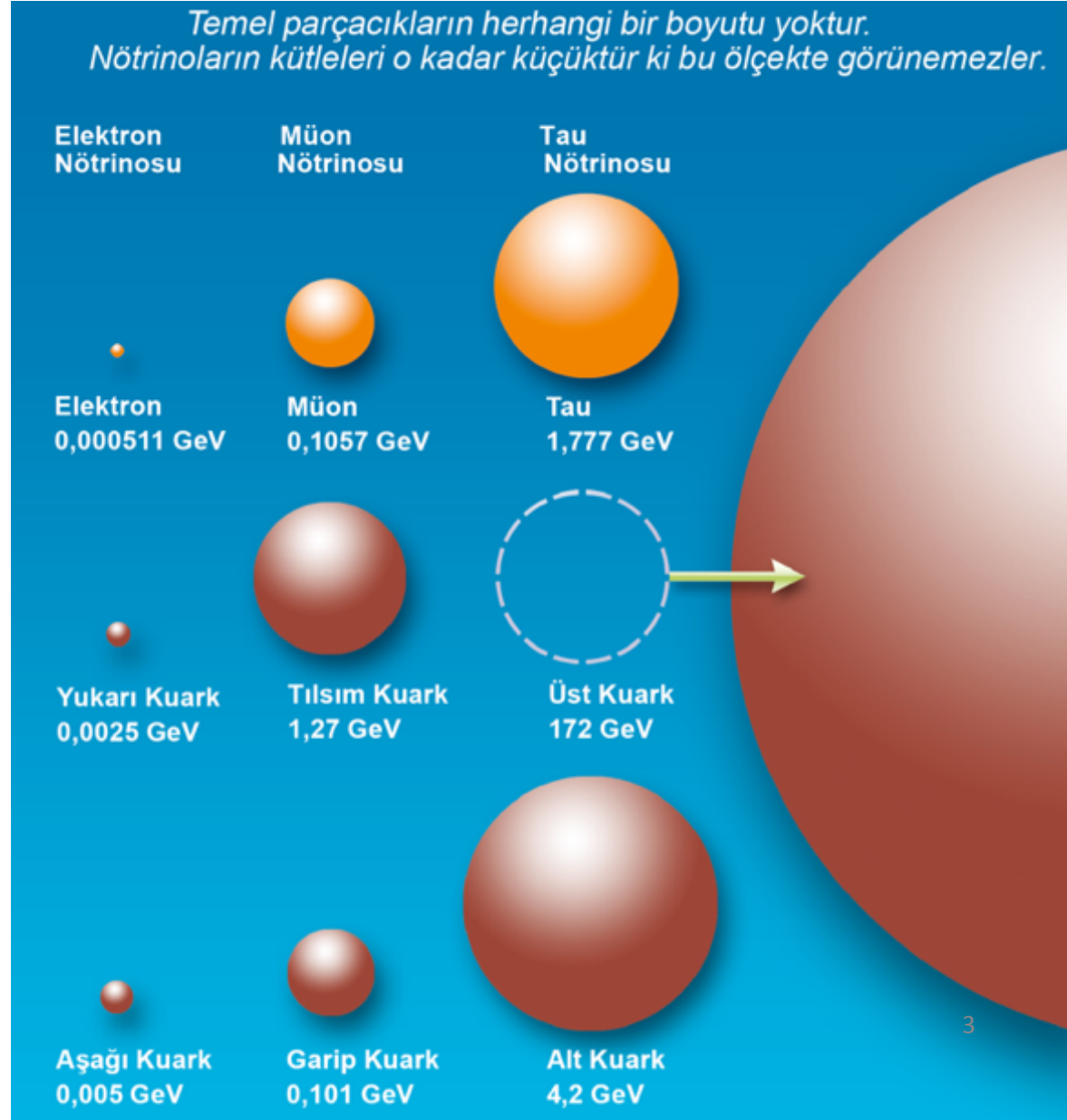
Temel parçacıklar ve etkileşimler hakkındaki bütün bilgilerimizi içeren bir kuramlar bütünüdür.



- Her kuarktan 3 renk.
- Her parçacık için bir karşıparçacık
- Etkileşimler kuvvet taşıyıcı parçacıklarla yönlendirilirler
- Toplamda 61 parçacık

# Standart Model'de kütle sorunu

- Parçacıklara kütle veren nedir?
- Neden farklı parçacıklar farklı kütlelere sahiptir?





# Peki kütle nedir?

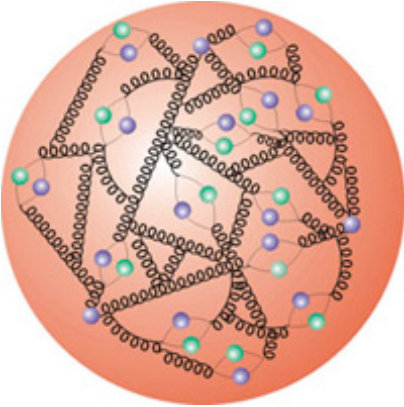
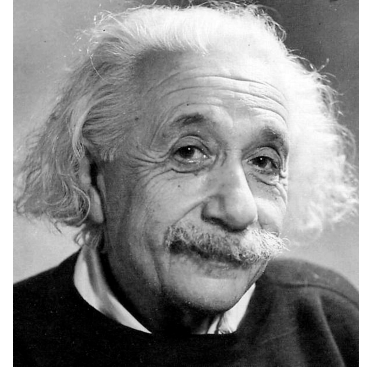
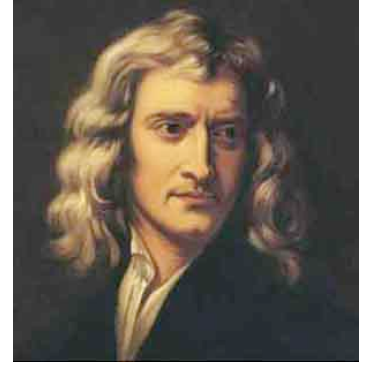
Newton'a göre: "Madde miktarı"

$F = ma \rightarrow$  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?



## Sorular: Kütle

Kütle parçacıklar için ayırt edici bir özellik midir? Parçacıkları kütlelerinden tanıyabilir miyiz? (Ferhat ASLAN)

Negatif kütle var mıdır? Varsa Higgs parçacığının burada etkisi nedir? (Evren Coşkun)

# Alanlar ve parçacıklar



**Alan:** Uzay-zamanın her noktasında bir değere sahip olan bir olgudur.

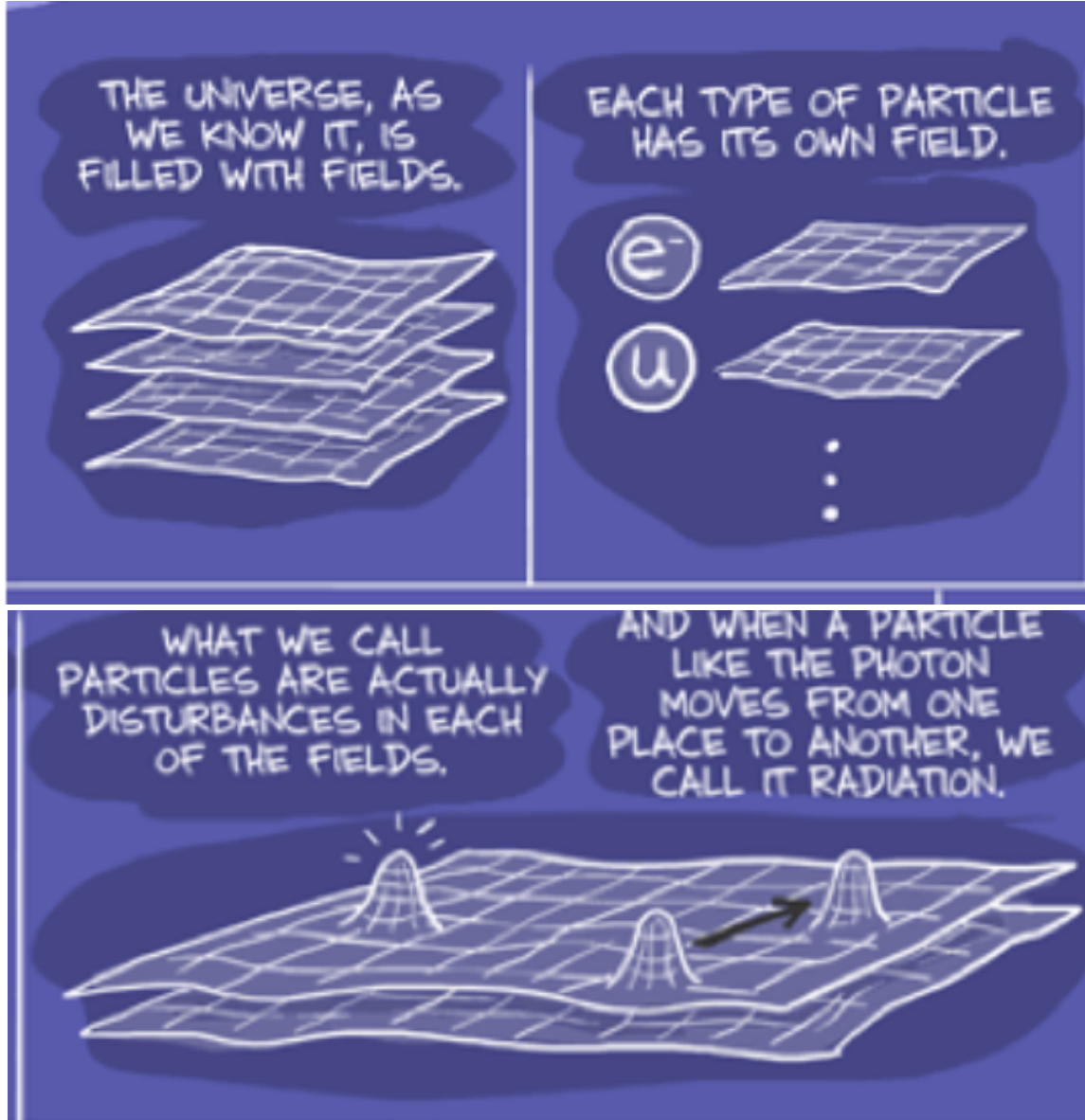
Ölçtüğümüzde varolan şeydir.

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

Ölçmediğimizde varolan şeydir.



# Alanlar ve parçacıklar



Uzayzamanın her noktasında her parçacık türüne ait alanlar bulunur.

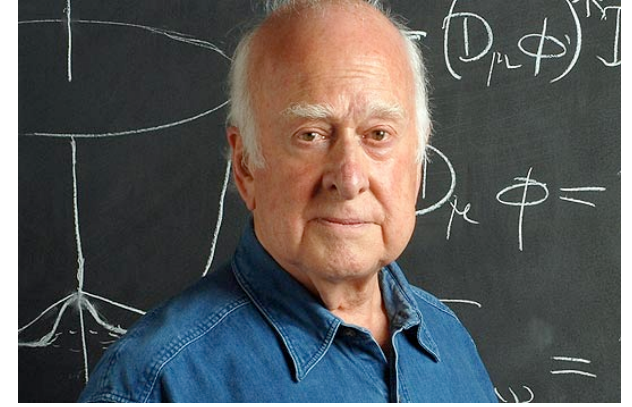
Parçacıklar alanların enerji ile uyarılmaları ile ortaya çıkar.



# 1964 Higgs devrimi

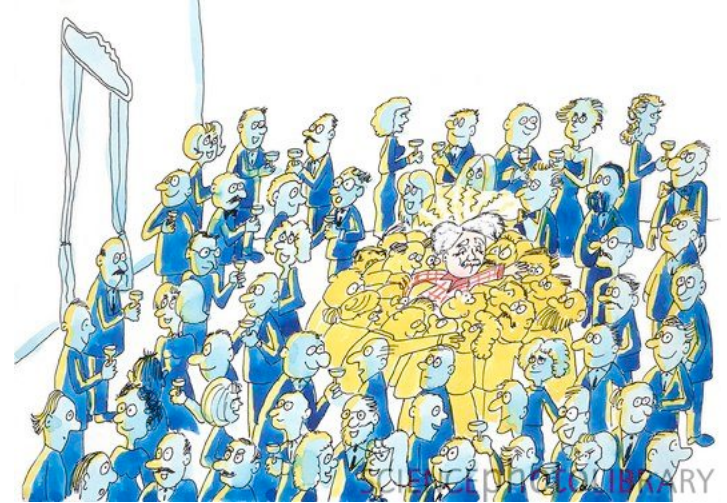
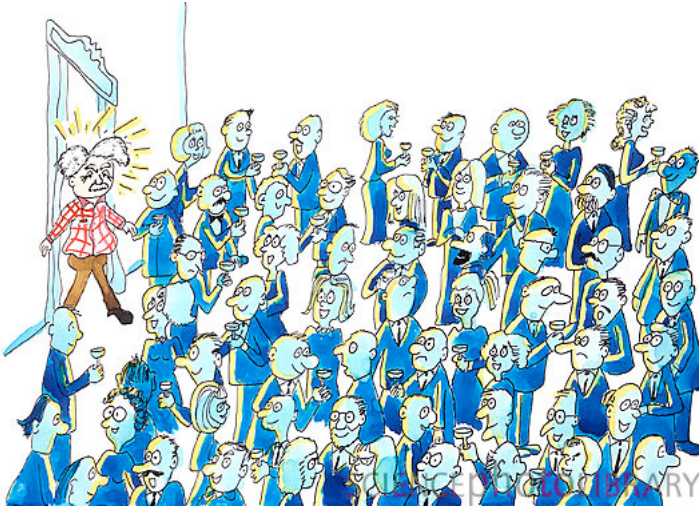


Kibble, Guralnik, Hagen, Englert, Brout

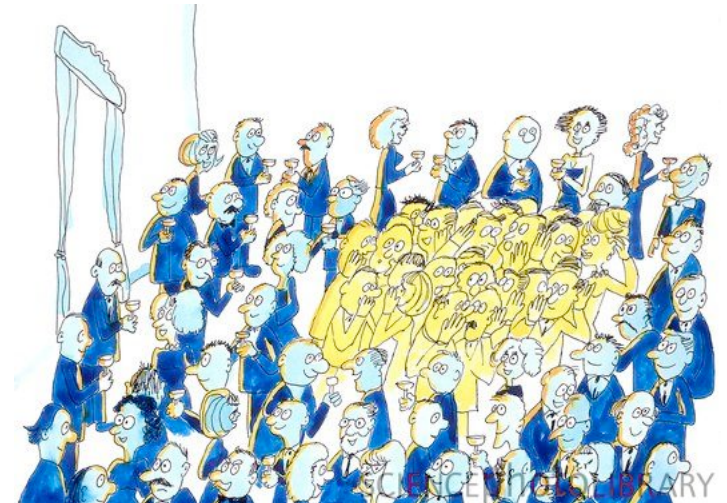
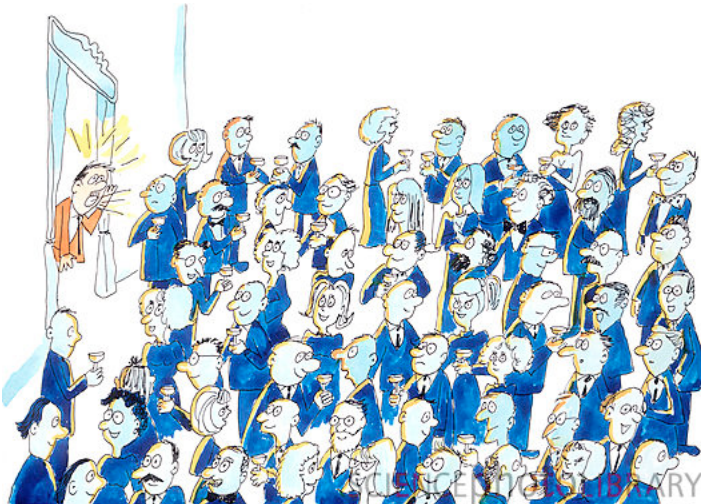


- Parçacıklar Higgs alanı ile etkileşince kütle kazanırlar.
- Parçacıklar Higgs alanı ile ne kadar çok etkileşirlerse o kadar fazla kütle kazanırlar.
- Higgs parçacığı, Higgs alanından doğan parçacıktır.

# Higgs alanında parçacıkların kütle kazanması



# Higgs alanında Higgs parçacığının oluşması



# Higgs alanından kütle kazanmak

Parçacıkların Higgs alanı ile etkileşip kütle kazanabilmeleri için **uzayzamanda her an, her noktada sabit ve sürekli bir Higgs alanı varolması gerekir.**

Madde parçacıklarının kazanacakları kütle

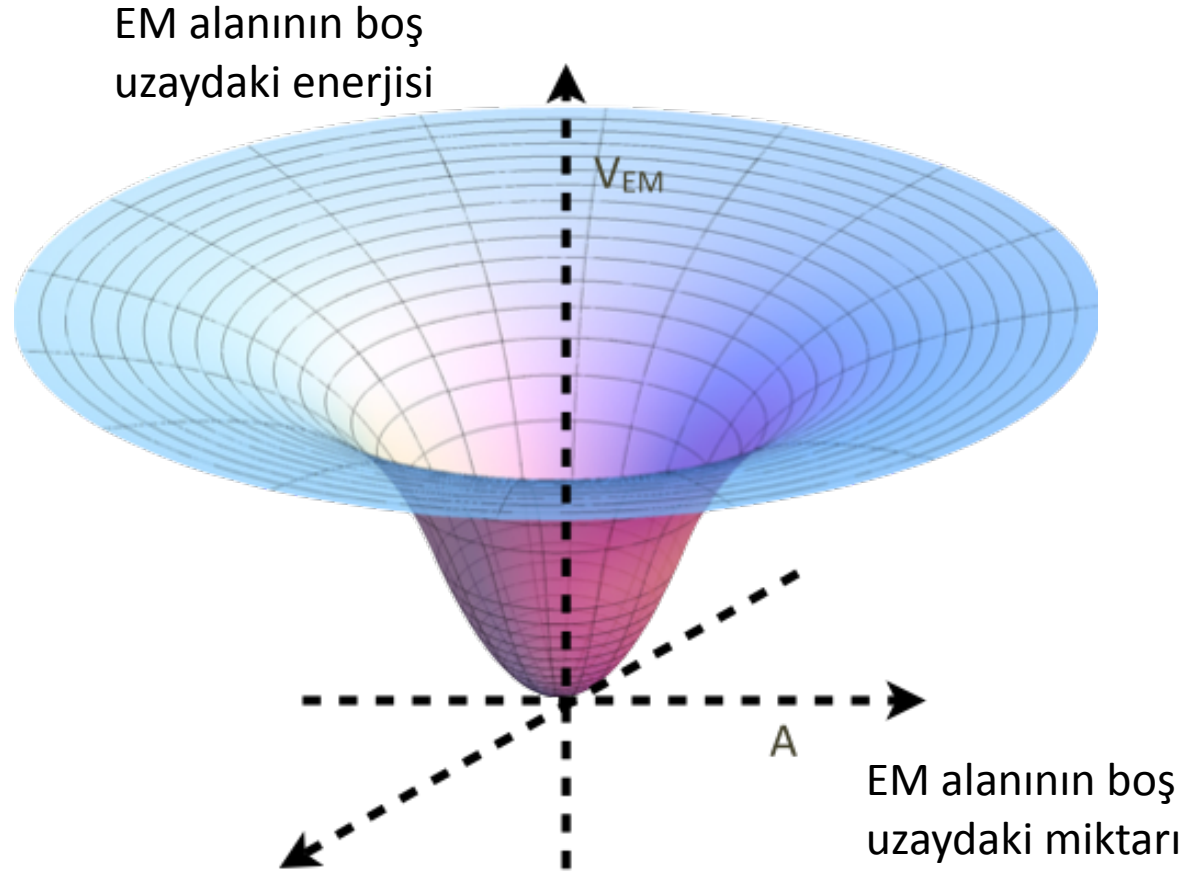
- Higgs alanının boş uzaydaki sabit değerine ve
- Parçacıkların Higgs alanı ile etkileşme miktarlarına bağlıdır.

Boş uzayda sürekli var olabilecek bir alanın yapısı standart madde ve etkileşim alanlarına göre farklı olmalıdır.

\*\*\* (Leonard Susskind, The Theoretical Minimum, “Particle Physics 2 - Standard Model” ders serisi ve “Higgs boson” dersi matematik altyapıyı en anlaşılır şekilde veren kaynaklardır.)

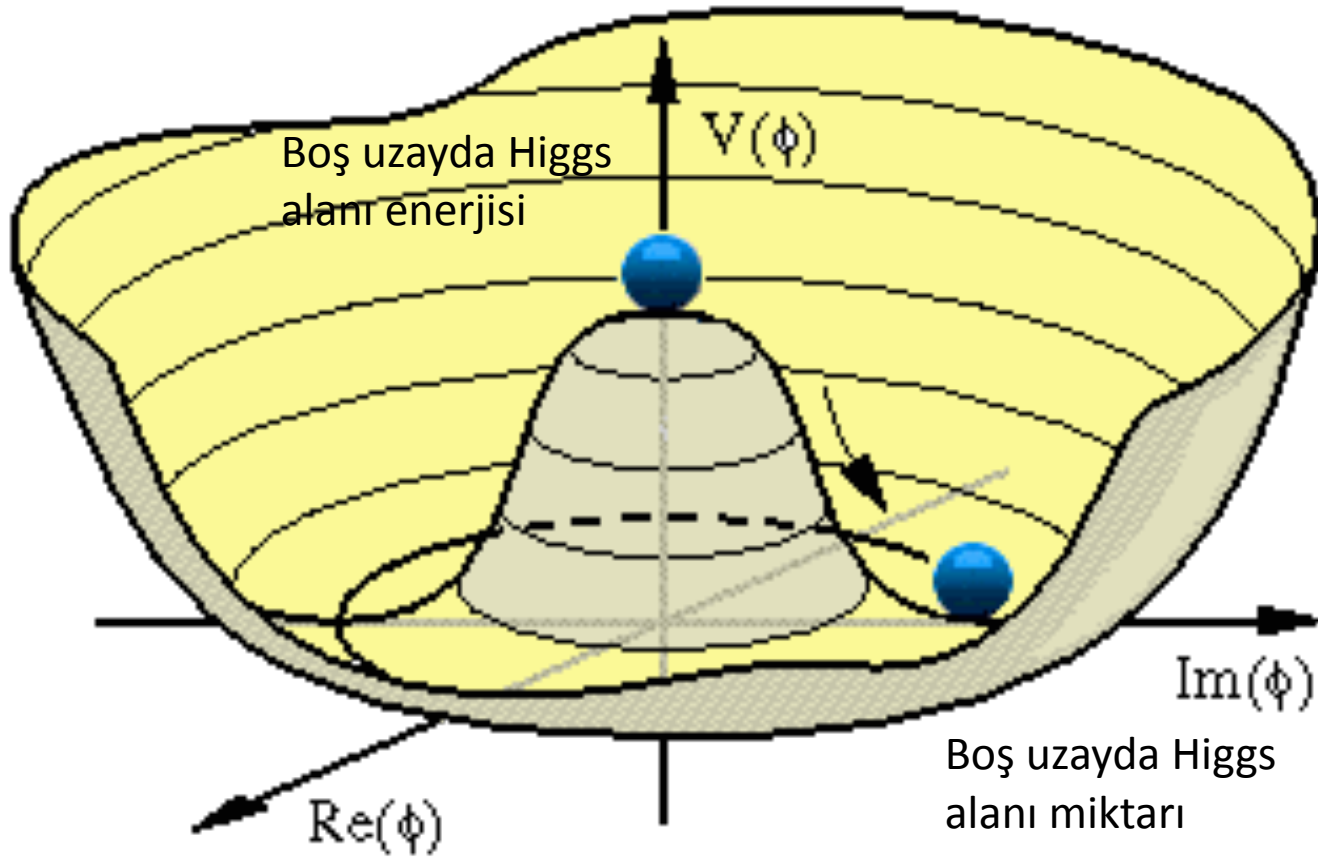


# Higgs alanı neden farklı: EM alanı hatırlayalım...



Evren tutumludur. Bir alan en az enerji gerektirecek şekilde varolur. EM alan için boş uzayda minimum enerji harcayacak durum sıfır alana denktir  $\rightarrow$  boş uzayda EM alan miktarı sıfırdır.

# Higgs alanı neden farklı?



Boş uzayda Higgs alanı olması, olmamasına göre daha az enerji gerektirir!  
—> Boş uzay Higgs alanı ile kaplıdır.

## Sorular: Higgs alanı, Higgs işleyişi - I

Higgs alanı ile parçacıkların etkileşimi sonucu kütle kazandıkları söyleniyor. Peki bu nasıl gerçekleşiyor? Bu etkileşimi daha ayrıntılı anlatmanız mümkün olabilir mi? (Cemile Kökçen Güven)

Higgs alanını ispatlamak için matematiksel hesaplamalardan bahsettiniz bunu derste anlatacak mısınız? (Cemile Kökçen Güven)

Higgs alanının evrenin her yerinde var olduğunu söylüyorsunuz.. Higgs alanının yeni nesil bir eter veya esir kavramı olarak kullanabilir miyiz ? çok mu iddialı olur ?  
Bahattin Kılıç



## Sorular: Higgs alanı, Higgs işleyişi - II

Parçacığın kütlesinin higgs alanı ile etkileşim miktarına bağlı olduğunu anlatmışsınız. Neden bazı parçacıklar fazla bazı parçacıklar az etkileşim yapıyorlar. Higgs alanı bunu nasıl ayırıyor? (Verilen örnekte salona giren Einstein'ı salondaki fizikçiler tanıdığı için etrafına topluyor ve etkileşim oluşturuyorlar. Higgs alanı giren parçacığı nasıl ayırt ediyor? Onun da bir mesajcısı mı vardır?) (Ayşegül Yıldırım)

## Sorular: Higgs alanı, Higgs işleyişi - III

Verilen oda örneği yerine dondurma örneği vermişsiniz. Bu dondurma örneğinde ise etkileşim parçacığının içsel bir özelliği ile (dondurmayı sevip sevmeme) ilişkilendiriliyor. Bu içsel özellik hakkında daha fazla veri var mıdır? (Ayşegül Yıldırım)

Bazı parçacıklar higgs alanıyla neden daha çok etkileşiyorlar? Veya bazıları neden etkileşmiyor bunu şu sebepten dolayı diyecek bir açılımamız var mı? (Bahattin Kılıç)

Parçacıkların Higgs bozonu ile ne kadar fazla etkileşeceğini belirleyen herhangi bir parametre var mı?(Kerem KANBUR

## Sorular: Higgs alanı, Higgs işleyişi - IV

Fotonlar veya gluonların higgs alanı ile etkileşmediğini mi anlamalıyız? Neden etkilenmiyorlar?

“Higgs W ve Z bozonlarına kütle kazandırabiliyorsa neden foton kütsesiz?” sorusu sorulmuş ara evreler vakr diye cevap vermişsiniz. Bu ara evreleri anlatabilir misiniz? (Talip TAŞ)

Fotonun higgs ile etkileşime girmeyişi ve kütsesiz olması ile ilgili soruya ara evreleri var demişsiniz, açıklayabilir misiniz? (Ayşegül Yıldırım)



## Sorular: Higgs alanı, Higgs işleyişi - V

Nötronlar kütleli mi? kütleli ise higgs ile etkileşmiyor anlamına gelir, peki o zaman Higgs in hangi parçacıklarla etkileşeceğine nasıl karar veriyor? (Talip TAŞ)

Doğanın temel korunumlu bir özelliği olan kütle higgs alanı sayesinde var olabiliyor. Peki yük korunumunun nedeni olan bir parçacık var mı? Mesela quarklar için kesirli yük tanımları yaparken hadronlar veya leptonlar için neden tam sayı olmak zorunda? (Talip Taş)

Higgs in kütle kazandırma süreci enerjinin kütleye dönüşmesi değil mi, neden hiçliğe kütle kazandırıyor deniyor? (Talip Taş)

Higgs alanının tersi var mı yani parçacığın girip kütle kaybettiği bir alan mevcut mudur? (Ferhat ASLAN)

## Sorular: Higgs alanı, Higgs işleyişi - VI

Işık hızına yakın hızlarda hareket eden parçacıkların kütleleri değişmez diye anlatıyoruz, ancak momentumları değişiyor. Bunu higgs alanıyla ilişkilendirebiliyor muyuz? (Bahattin Kılıç)

Havanın varlığını anlayabilmek için elimizi oynatmamız gerekiyor peki higgs alanının varlığını nasıl anlarız yani bu alana kütesiz girip kütle kazanan parçacıkları gözlemleyebilir miyiz? Nasıl? (Ferhat ASLAN)

EM alan yada güçlü kuvvete ait yukawa potansiyelinin alan grafiği sıfır alan için minimum enerji değerinde olması ters kare kuvvet kanunu ile ilişkili değil mi eğer öyle ise Higgs alanı ters kare kanununa uymaz mi? (Talip TAŞ)

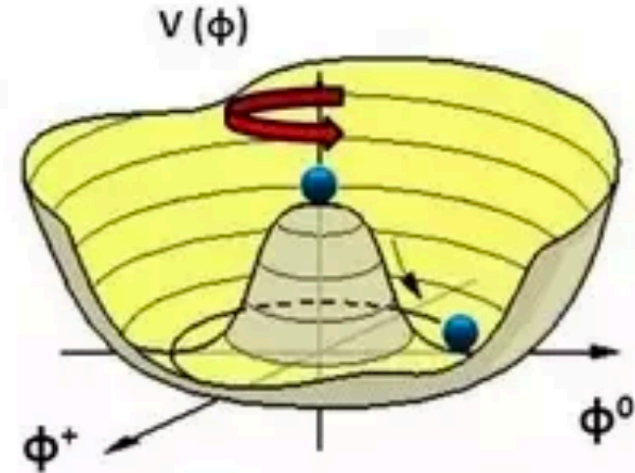
# SMde Higgs sektörü

## Higgs potential

$\Phi$ : isospin SU(2) scalar doublet

$$V(\Phi) = -\mu^2 |\Phi|^2 + \lambda |\Phi|^4$$

$$\Phi = \begin{pmatrix} \phi^+ \\ \phi^0 \end{pmatrix}$$



## Higgs VEV

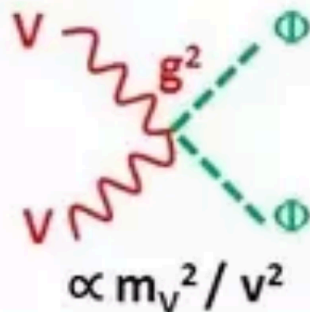
$$\langle \Phi \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ v \end{pmatrix}$$

Physical state: Only one neutral component  $h$

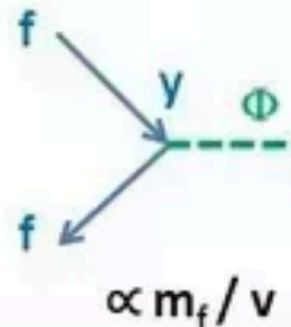
$SU(2)_L \times U(1)_Y \rightarrow U(1)_{EM}$

## Higgs Interaction

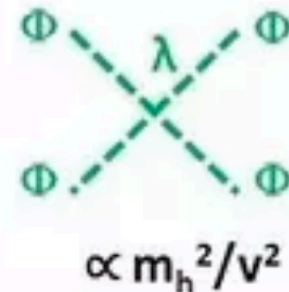
### Gauge interaction



### Yukawa interaction



### Self interaction



All the Higgs interactions are proportional to the mass

# Higgs işleyişi SM'i bütünleştirir

## Madde parçacıkları:

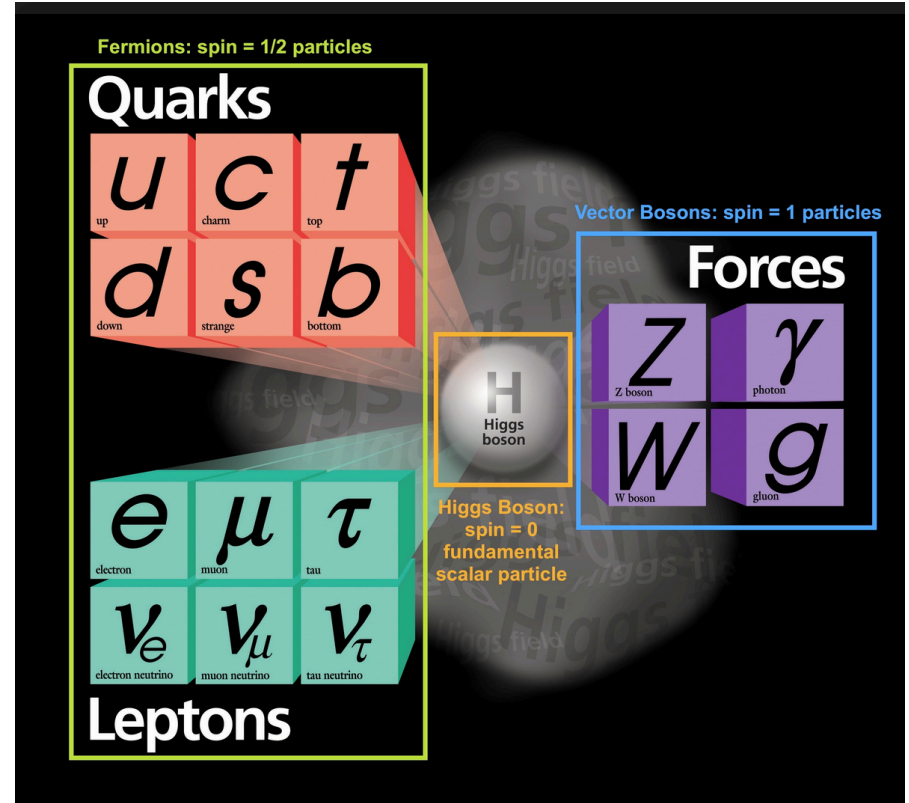
EM, güçlü ve zayıf kuvvetler için olan kuantum alan kuramları tek başlarına madde parçacıklarının kütlelerini öngöremiyor.

Deneyde gözlenen parçacık kütleleri Higgs alanıyla etkileşim sayesinde açıklanır.

## Kuvvet taşıyıcı parçacıklar:

Zayıf kuvvet taşıyıcılarının kütleleri SMde öngörülemez.

Higgs işleyişi EM kuvvet taşıyıcısı fotonlara ve güçlü kuvvet taşıyıcısı gluonlara kütle vermezken zayıf kuvvet taşıyıcısı W/Z bozonlarına kütle verir. Böylece kuvvetlerin gözleme uygun davranışı elde edilir.





## Sorular: Higgs parçacığı - I

Sunumda Higgs bozonunun kütlesi GeV olarak veriliyor. Kütle birimi nasıl enerji birimine eşit oluyor? (Muhammet Çoruh)

Sunumda Higgs kütlesinin karesi eşittir toplam enerji eksi toplam momentum olduğunu anlattınız. Birim analizine göre nasıl mümkün oluyor? (Muhammet Çoruh )

Higgs parçacığının ömrü  $10^{-22}$  s. Peki bu ömrü uzatabilir miyiz? Bozunmalar engellenebilir mi? (Ferhat ASLAN)

Higgs bozonunun yarı ömrü çok kısa iken madde nasıl sürekli kütle kazanabiliyor? (Muhammet Çoruh )

## Sorular: Higgs parçacığı - II

Higgs parçacığının kütlesi nasıl açıklanıyor?(Ayşegül Yıldırım)

Elektromanyetik alanda fotonların birbiriyle etkileşmesi gibi Higgs bozonları da birbiriyle etkileşiyor mu? Nasıl? (Nebile Yılmaz)

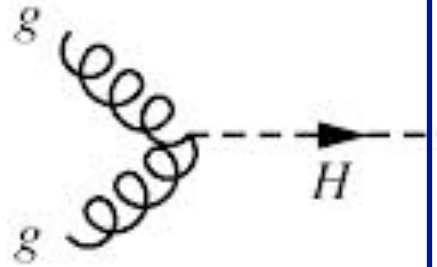
Kütleyi kazandıran Higgs bozonu varlığı düşünülen Graviton ile ilişkili midir? Bu anlamda bir öngörü yada fikir bulunuyor mu? (Kerem Kanbur)

Higgs'in kütlesi çok çok küçük olduğunu biliyoruz Higgs in varlığını 3 boyuttan fazla boyutta daha iyi anlayabiliyoruz. Ve kütle çekim kuvvetide daha etkili oluyor. Bu boyutlarda diğer etkileşim kuvvetlerin etkisi nasıl değişiyor?(Hakan Bilir)

# Higgs'i aramak

Higgs ya da başka ağır parçacıkları ölçmek için önce üretmek gerek.

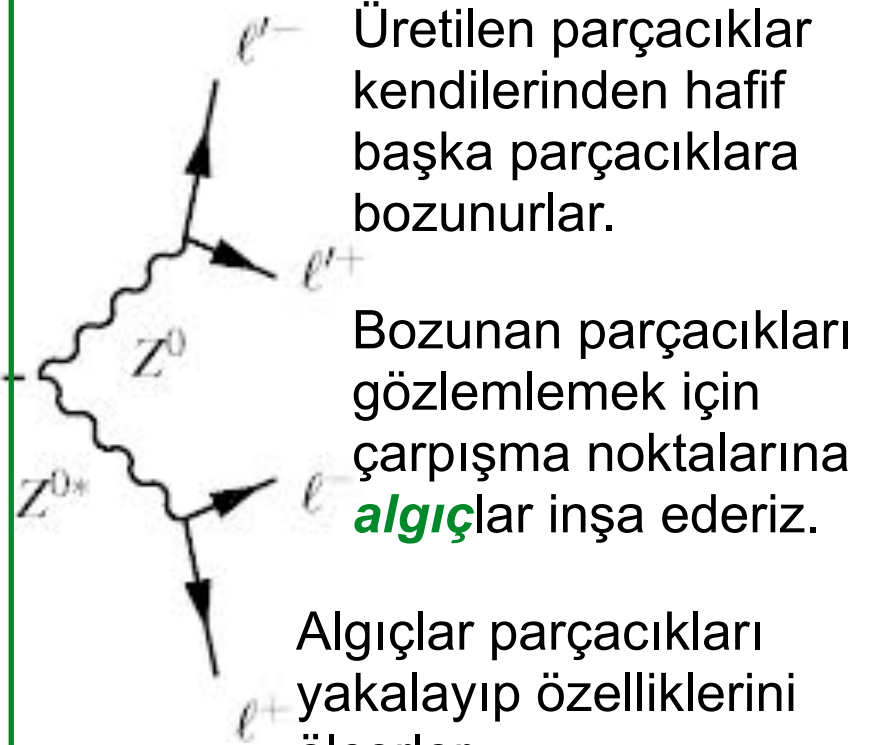
$E = mc^2$   
E: enerji  
m: kütle  
c: ışık hızı



Parçacık ne kadar ağırsa o kadar enerji gerekir.

Gereken enerjiyi üretmek için **hızlandırıcı**ları kullanırız.

Örnek: Büyük Hadron Çarpıştırıcısı



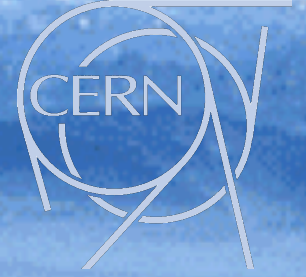
Üretilen parçacıklar kendilerinden hafif başka parçacıklara bozunurlar.

Bozunan parçacıkları gözlemlemek için çarpışma noktalarına **algıçlar** inşa ederiz.

Algıçlar parçacıkları yakalayıp özelliklerini ölçerler.

Örnek: ATLAS, CMS, ...

# Hızlandırıcılar güçlü mikroskoplardır



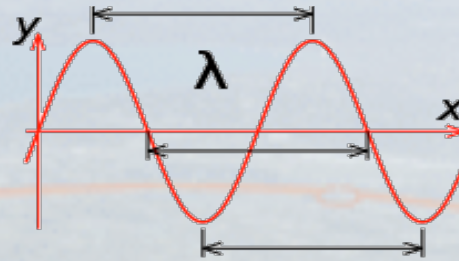
Hızlandırıcılar parçacıkların enerjilerini arttırarak küçük parçacıkları görmemizi sağlarlar.

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

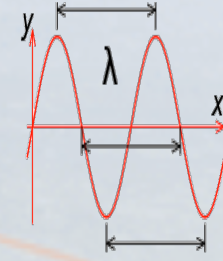
$$\lambda = h / p$$

( $h$ : Planck sabiti)

Momentumu (= enerjisi) arttırılan parçacığın dalga boyu azalır.



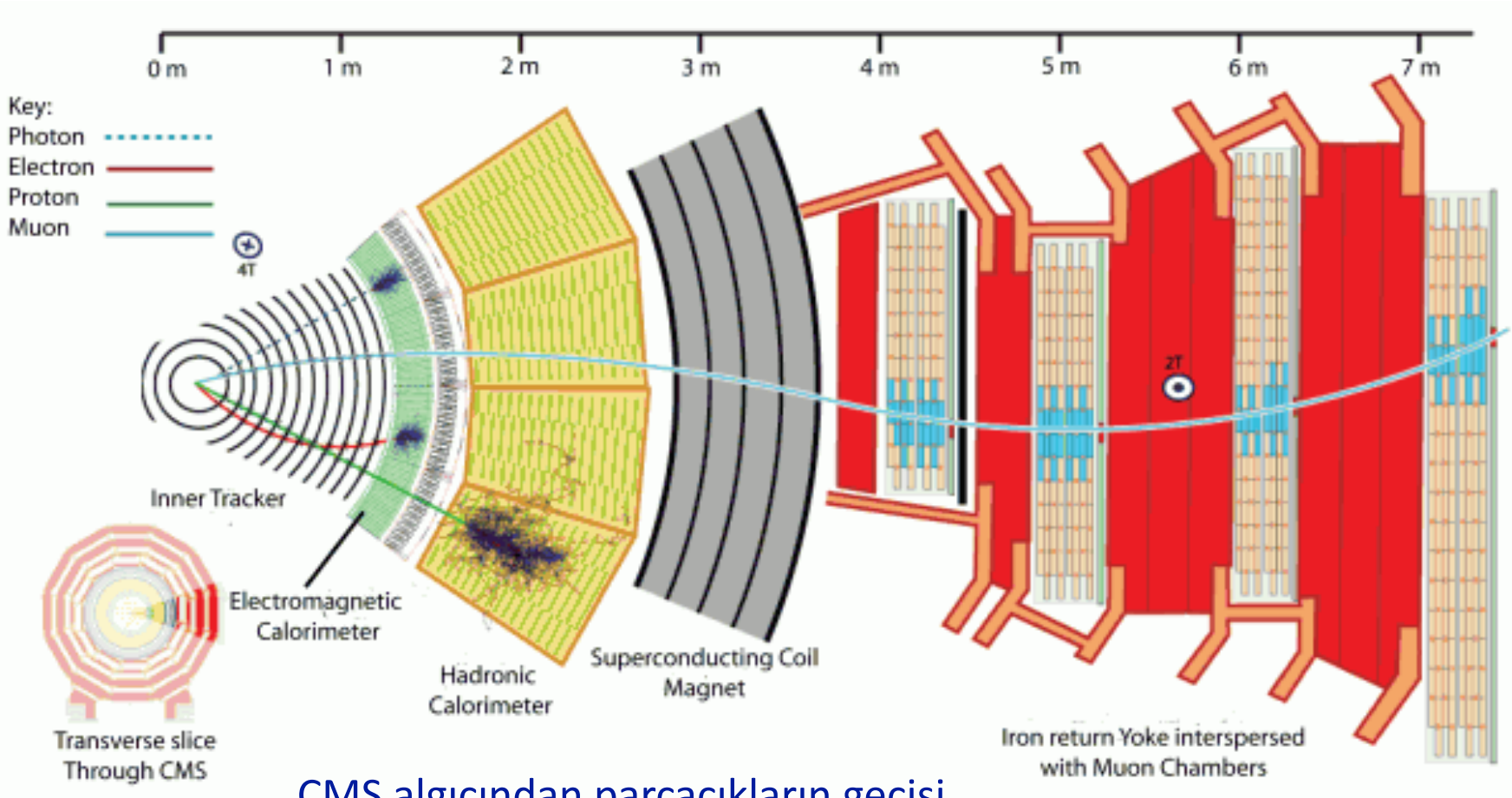
düşük enerjili parçacıklar  
→ uzun dalga boyu →  
düşük çözünürlük



yüksek enerjili parçacıklar  
→ kısa dalga boyu →  
yüksek çözünürlük

# Algıçlar yüksek çözünürlüklü fotoğraf makinalarıdır

Farklı parçacıklar algıcın farklı katmanları ile farklı şekilde etkileşirler. Etkileşim izlerine bakarak parçacıkları tanımlar ve özelliklerini ölçeriz.



CMS algıcından parçacıkların geçişi



# Buluşu nasıl yapıyoruz: Veri analizi ya da

*samanlıkta saman aramak*



- Higgs'ı (ya da diğer ilginç parçacıkları) yeterli miktarda üretmek.
- Higgs'in bozunduğu parçacıkları algıta gözlemlemek.
- Gözlemlediğin parçacıkların Higgs'ten geldiğine emin olmak (onları Standart Model'den ayırt etmek).
- SMde beklenenden kayda değer miktarda daha fazla Higgs benzeri veri gördüğüne emin olmak.

Higgs'ı bulmak

48 yıl = 1.514.764.800 sn.

südü!

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

## Sorular: Higgs gözlemi - I

Higgs-Strahlung için kuark ve karşıt kuark gerekliyse proton-proton çarpışmasından bu oluşabilir mi protonların içinde karşıt parçacık bulunmuyor bu çarpışmanın başka bir aşamasında mı oluşur? Aynı soru WZ Fusion için de geçerli. (Ferhat ASLAN)

Enerjiden, madde, anti madde oluştuğunu biliyoruz. Higgs strahlung birleşiminde t ve anti t birleşiyor buradan Higgs parçacığının oluşumuna gidiyoruz. Burada enerji oluşması gerekmiyor mu Higgs alanını ve Higgs parçacığını enerji olarak niteleyebiliriz miyiz? (Okan Köse)

Higgs parçacığının farklı kanallarda oluşması farklı farklı özelliklere sahip higgs parçacıklarının olması anlamına mı geliyor? Kuarkların altı çeşit olması gibi higgs parçacığının da çeşitleri var mıdır? (Nergül Çakmak)

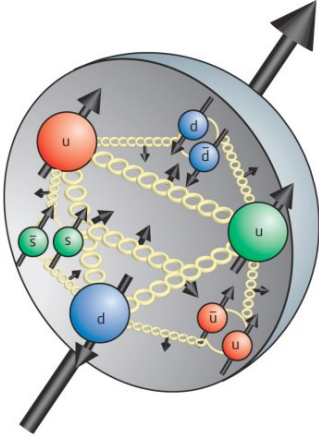
## Sorular: Higgs gözlemi - II

Parçacıkları çarpıştırmadan başka bir yolla Higgs ya da yeni parçacıklar keşfedilebilir mi? (Ferhat ASLAN)

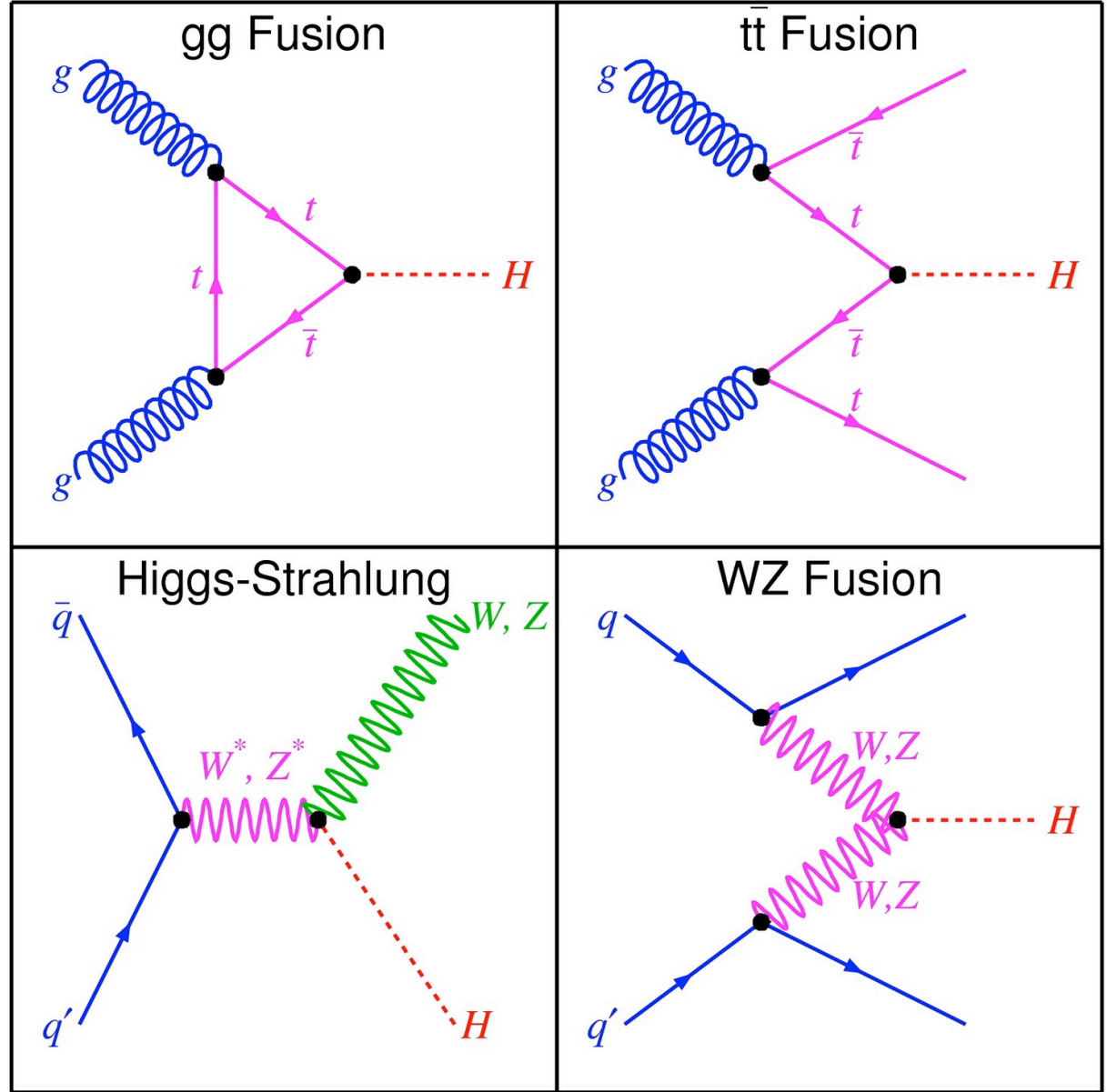
Tesir kesiti ile toplam ışınımın çarpımına tanecik sayısı dediniz yanlış anlamadıysam oysa birim analizi saniye üzeri eksi bir çıkıyor yani frekans olması gerekmez mi, yada frekans zaten sayıyı mı anlatır? (Talip TAŞ)

LHC nin daha 10 yıl çalışacağını ve en az 100 milyon Higgs üretileceğinden söz ettiniz. Bu üretimin amacı Standart Modeldeki eksikleri gidermek için mi olacak yoksa bu kütleden elde edilecek enerjinin farklı bir kullanım hedefi var mı?(Elif ÇAVDAR)

# 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.





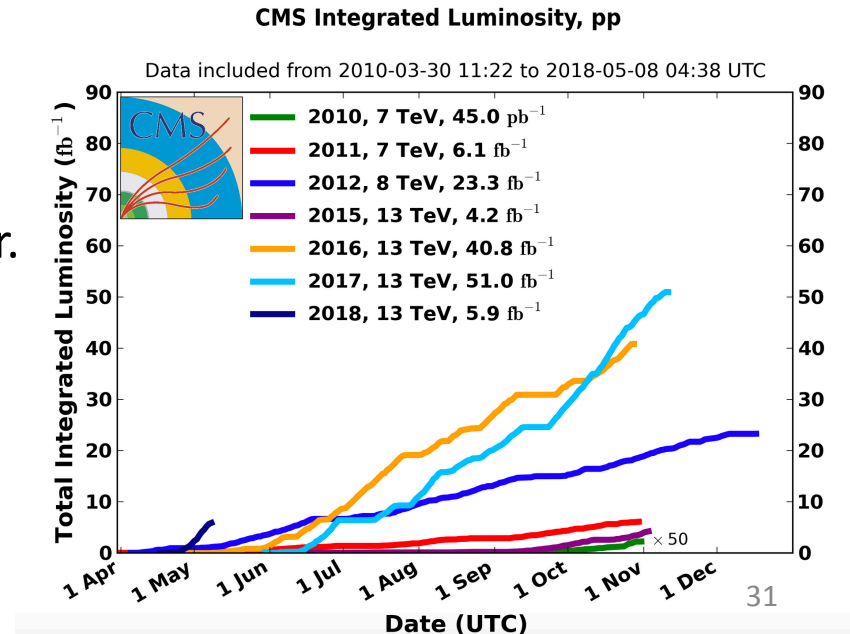
# LHC'de ne kadar etkileşim oluşur?

- 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.
  - Işınlık  $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  birimi ile ölçülür. LHC'nin ışınlığı 2012 yılında  $10^{33}\text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 'ye ulaşmıştı.

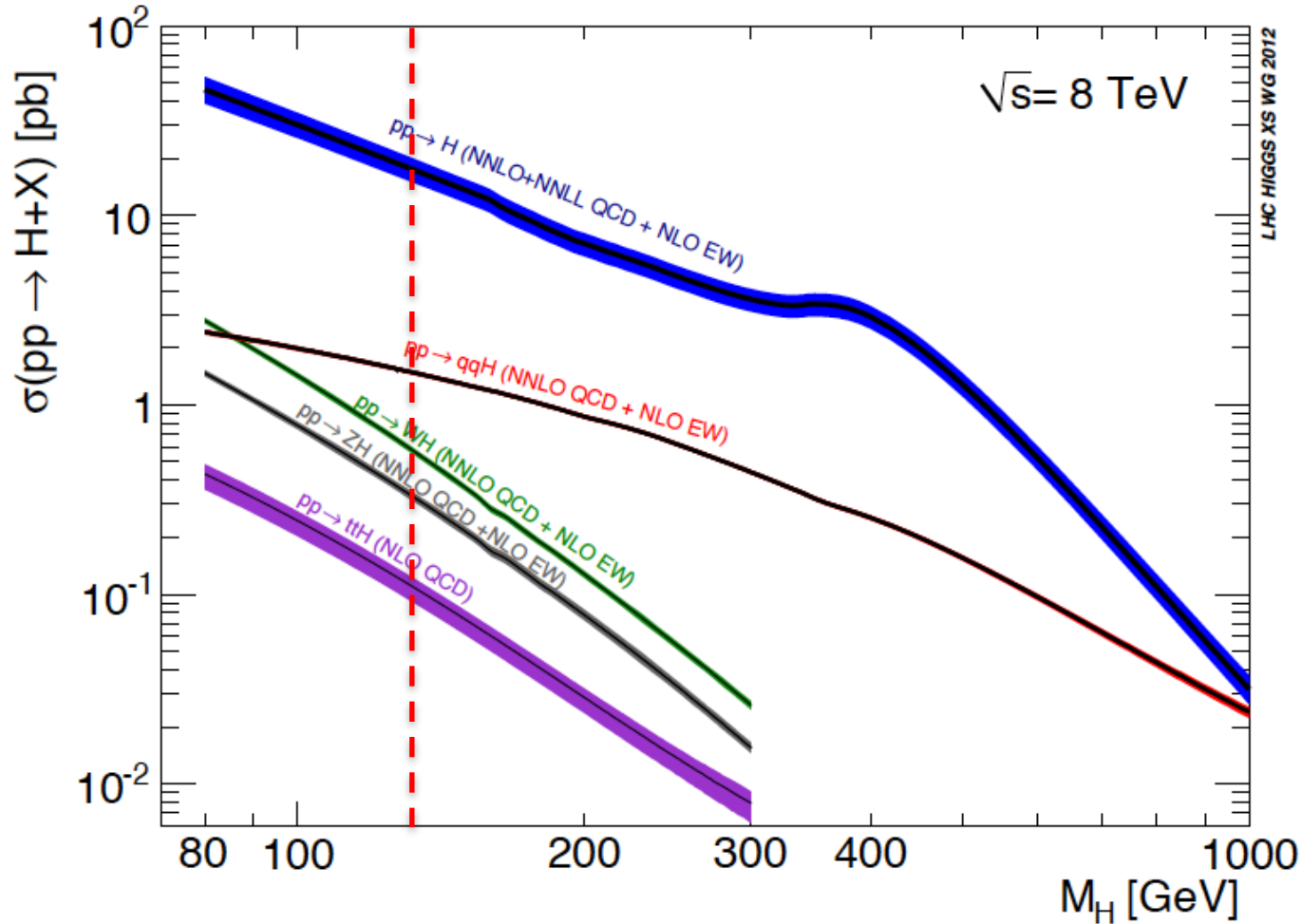
- **Toplam ışınlık** ise belli bir zaman sürecinde **birim alanda** kaç pp çarpışması olduğunun ölçümüdür.  $\text{fb}^{-1}$ ,  $\text{pb}^{-1}$  gibi birimlerle ölçülür.
- LHC'de oluşan **etkileşim sayısı N**

$$N = \sigma \times L$$

şeklinde hesaplanır.



# LHC'de ne kadar Higgs oluşur?

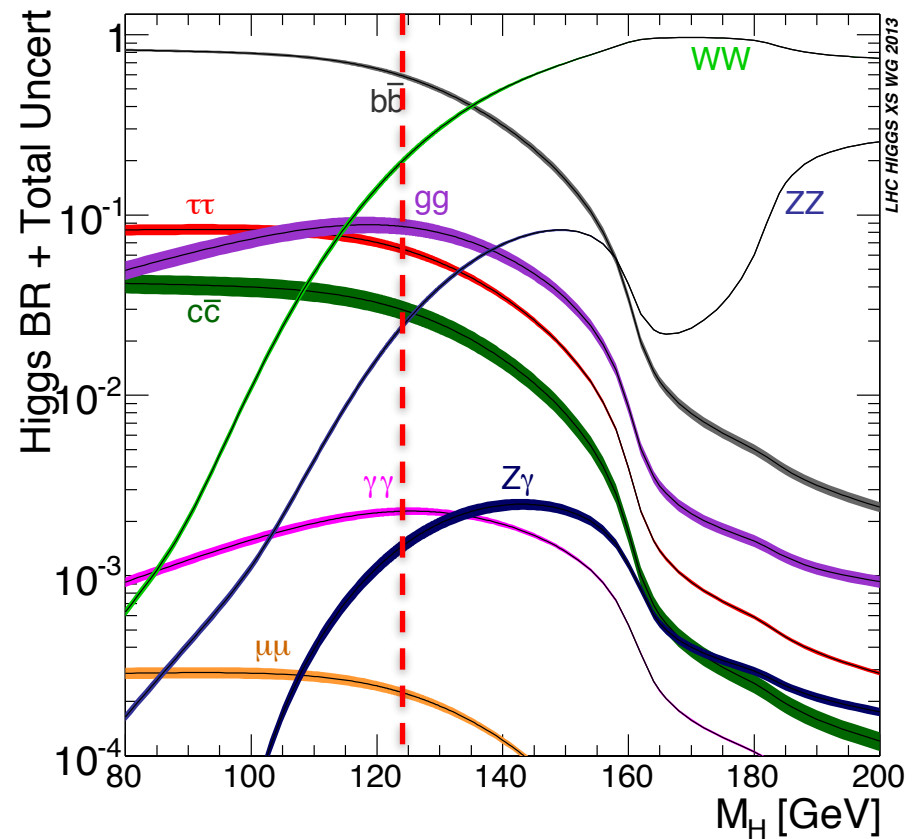
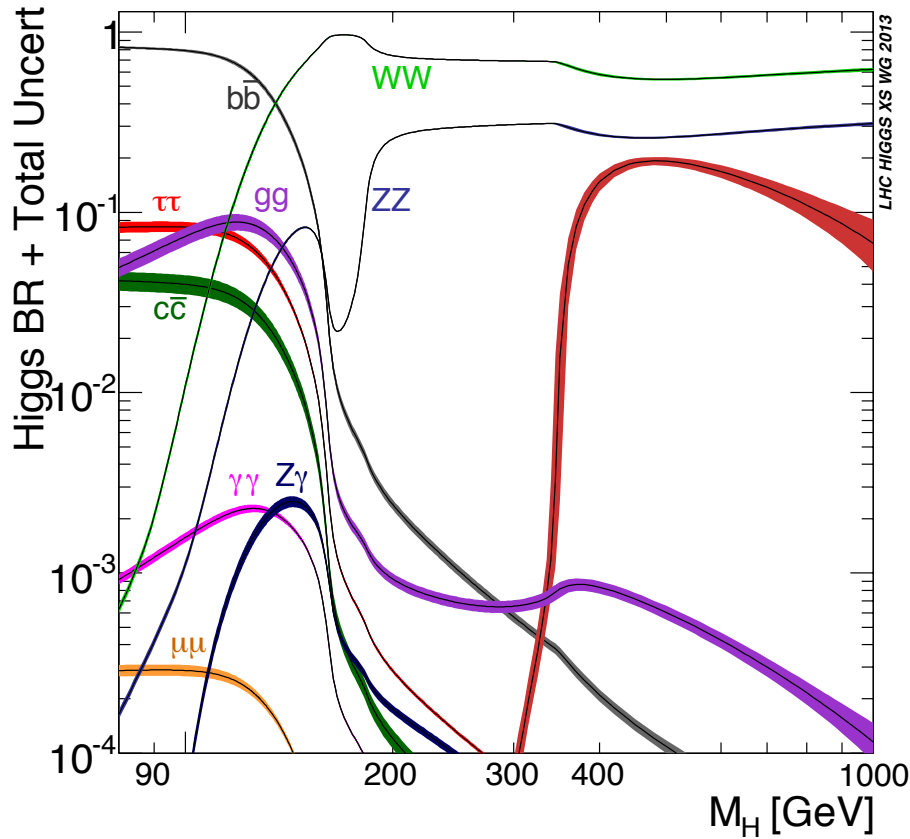


LHC'de 8TeV çarpışmalarda kaç Higgs oluştuğunu hesaplamak için y eksenindeki tesir kesiti değerini 20000 pb<sup>-1</sup> ışınlık ile çarpalım.

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

# Higgs nasıl bozunur?

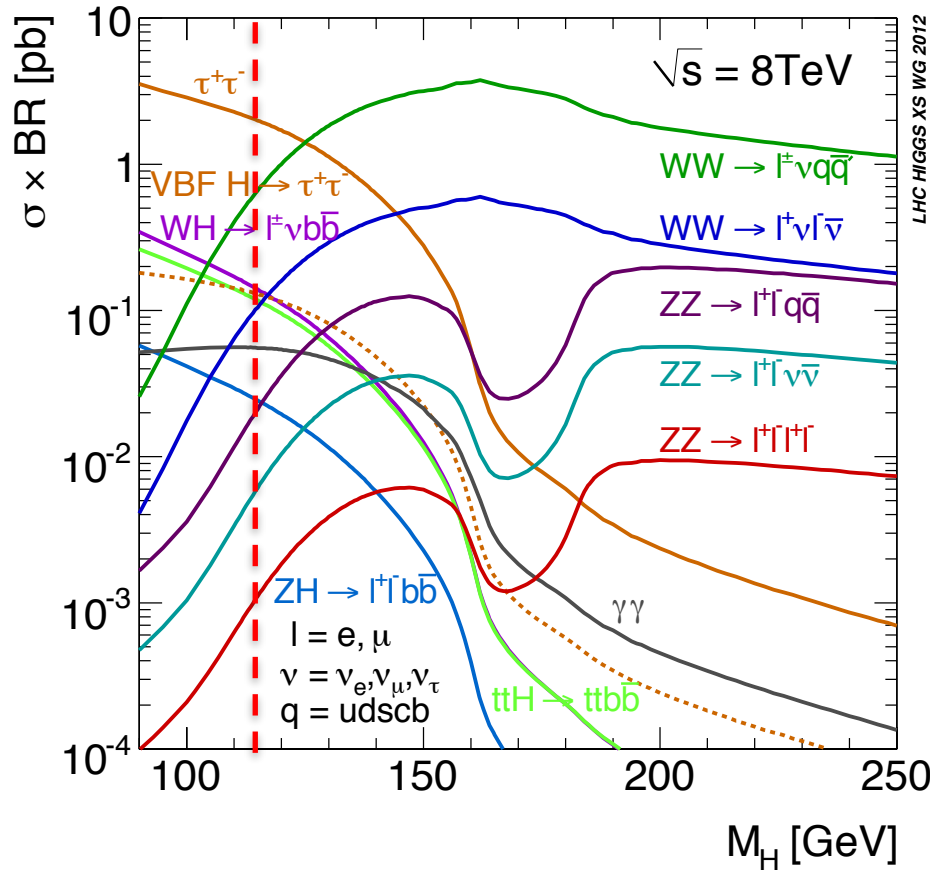
- Higgs'in ömrü  $10^{-22}$  saniyedir, ve hemen kendinden hafif parçacıklara **bozunur**. Bu bozunma **farklı şekillerde** gerçekleşir.
- Higgs'in belli bir **son duruma** bozunma olasılığına **dallanma oranı (BR)** denir.



# 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.

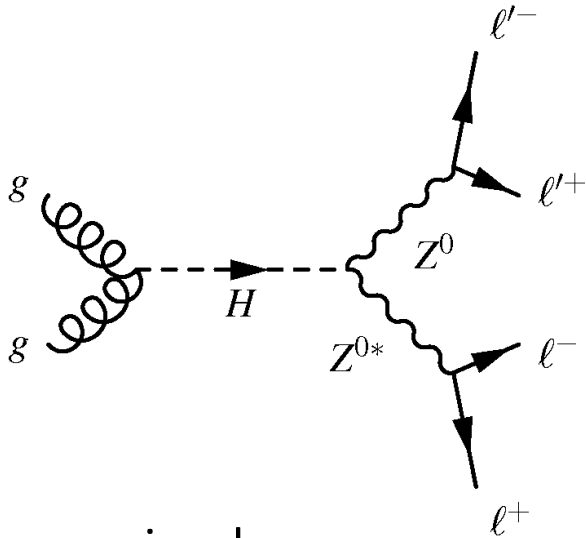
- $\sigma \times BR$  ne kadar yüksekse o kadar çok Higgs'li olay göreceğiz demektir.
- Ayrıca son durumda çıkan parçacıkları algıncın ne hassaslıkla algıladığına dikkat etmeliyiz.

ANCAK...

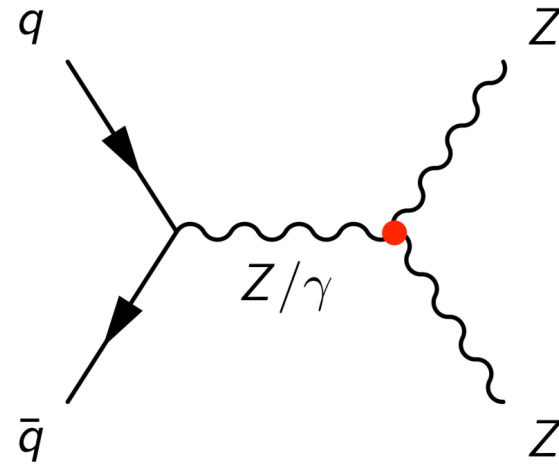
LHC'de 8TeV veri alımında kaç Higgs oluştuğunu hesaplamak için y eksenindeki  $\sigma \times BR$  değerini 20000  $\text{pb}^{-1}$  ışıklık ile çarpalım.

# 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** bularak ardalandan kurtulmalıyız.



# Higgs sinyalini ayırd edebilmek

- Higgs'li son durumları Higgs'siz son durumlardan ayırt etmeye yarayan özelliklerden biri Higgs'in **değişmez kütesidir**.
- Değişmez kütle **Higgs'in bozunmasıyla ortaya çıkan tüm parçacıklar** kullanılarak hesaplanır:

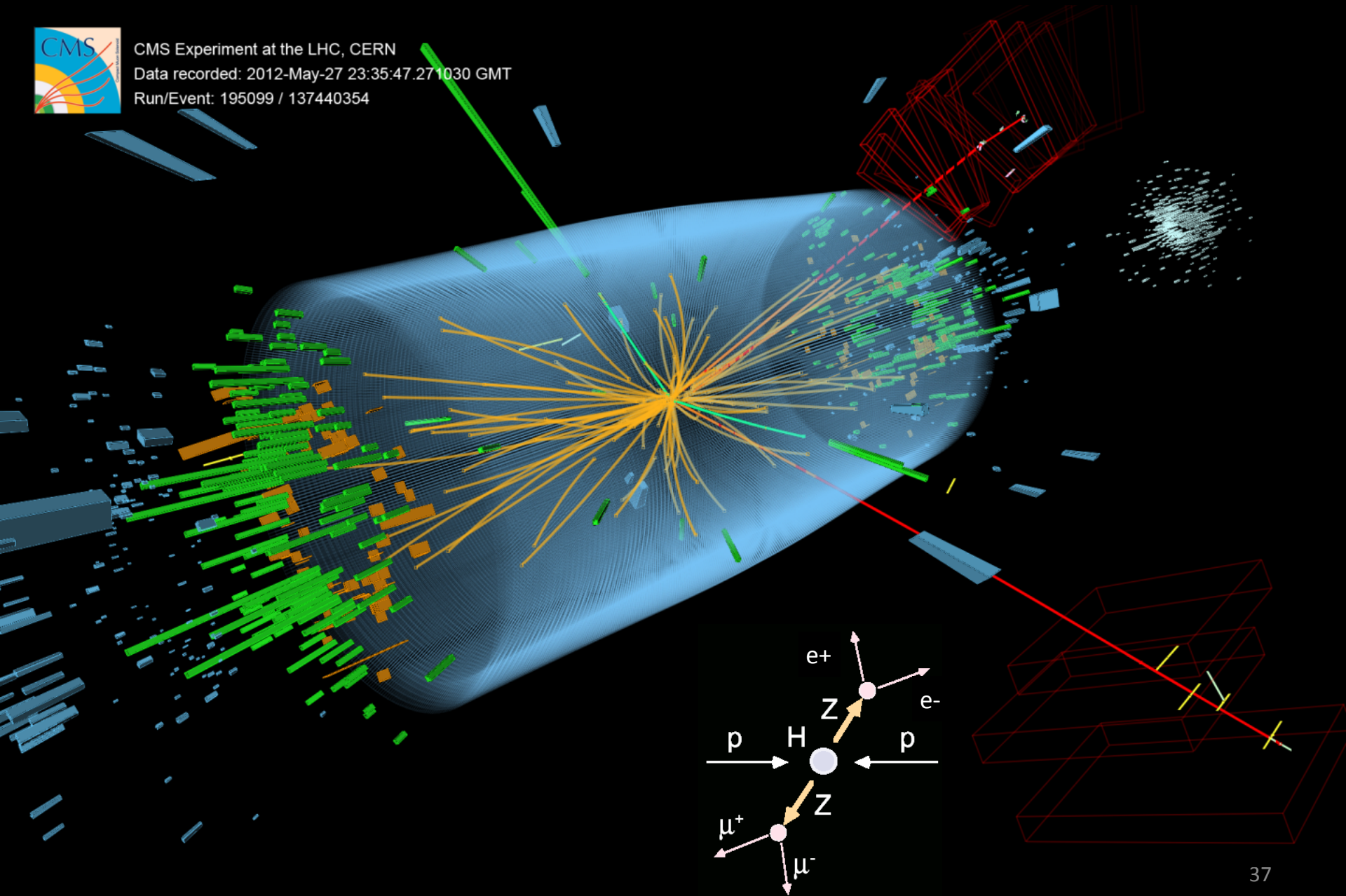
$$m^2 = \left( \sum_{i=0}^n E_i \right)^2 - \left| \sum_{i=0}^n \vec{p}_i \right|^2$$

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

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

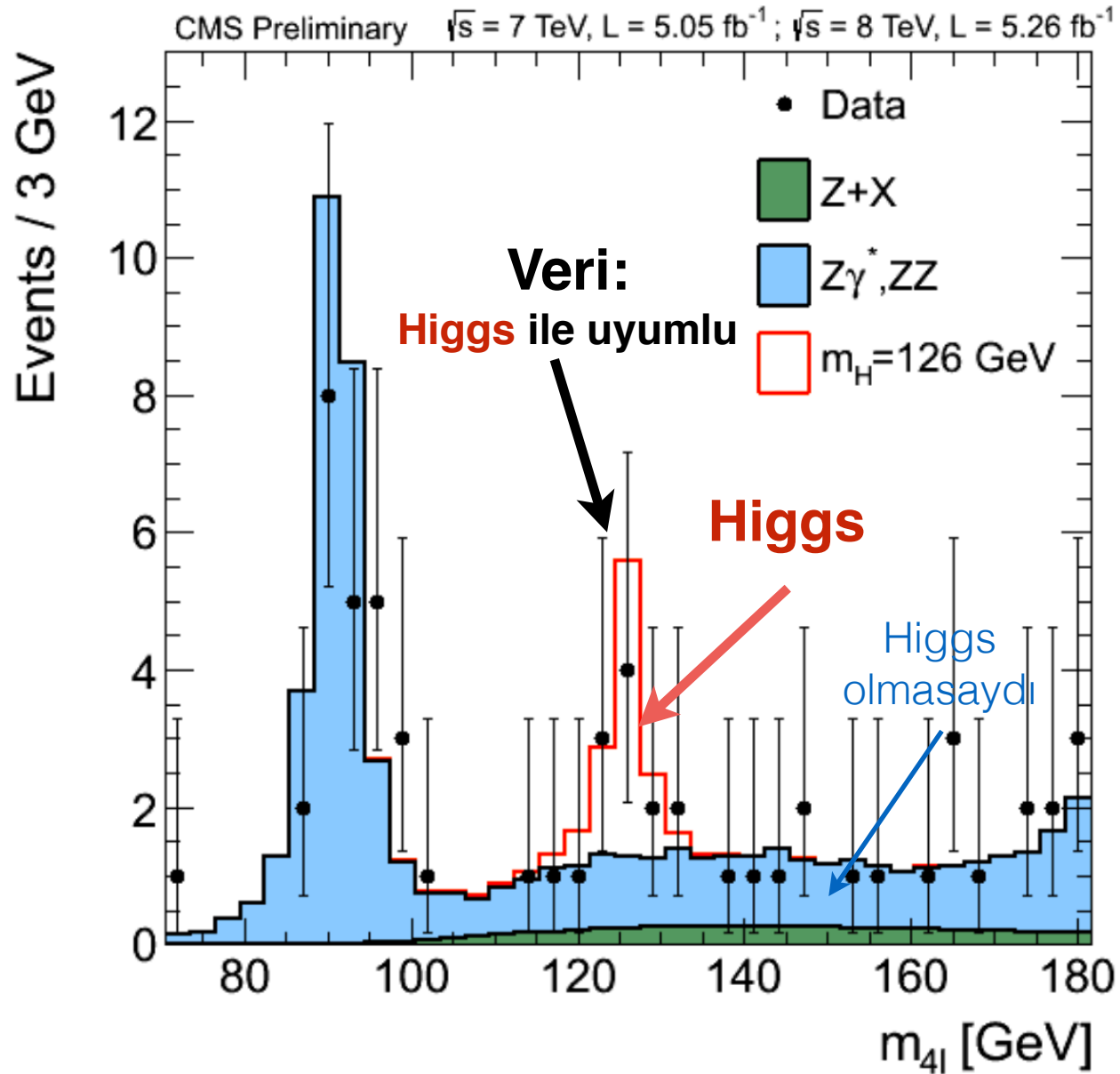


CMS Experiment at the LHC, CERN  
Data recorded: 2012-May-27 23:35:47.271030 GMT  
Run/Event: 195099 / 137440354



# 4 Temmuz 2012: CMS $h \rightarrow ZZ \rightarrow 4 \text{ lepton}$

K  
D  
S  
i  
f

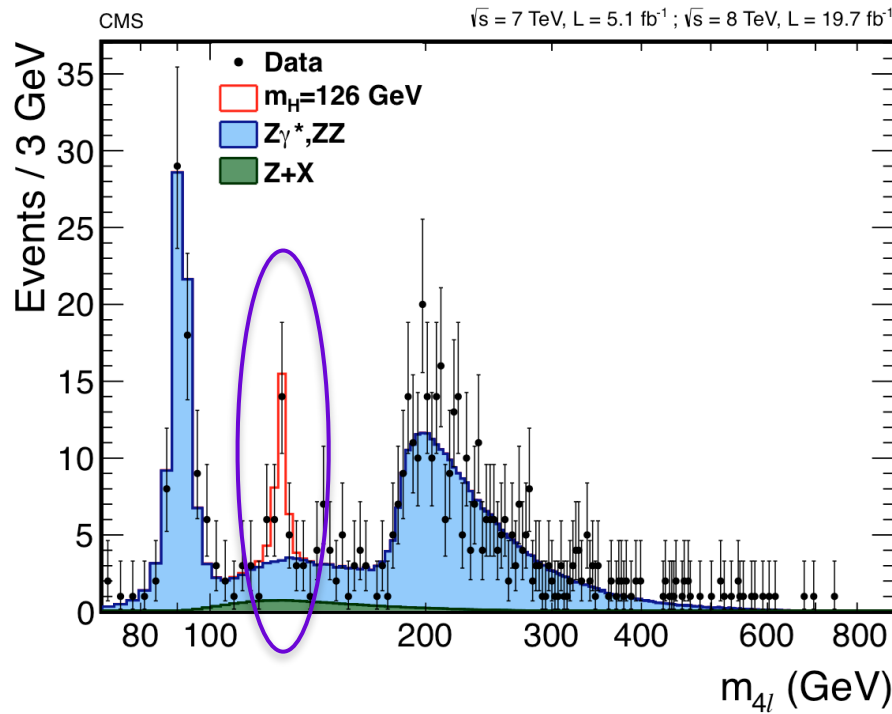




## 4 Temmuz 2012: CERN, Ana Salon

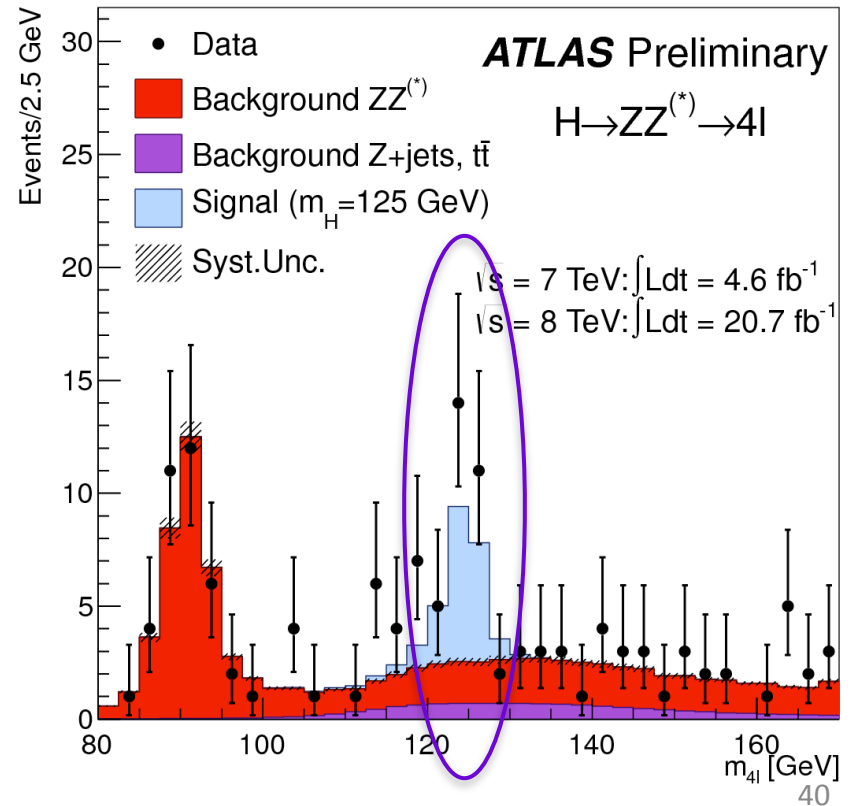


# $h \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$ kanalında gözlem - LHC Run1



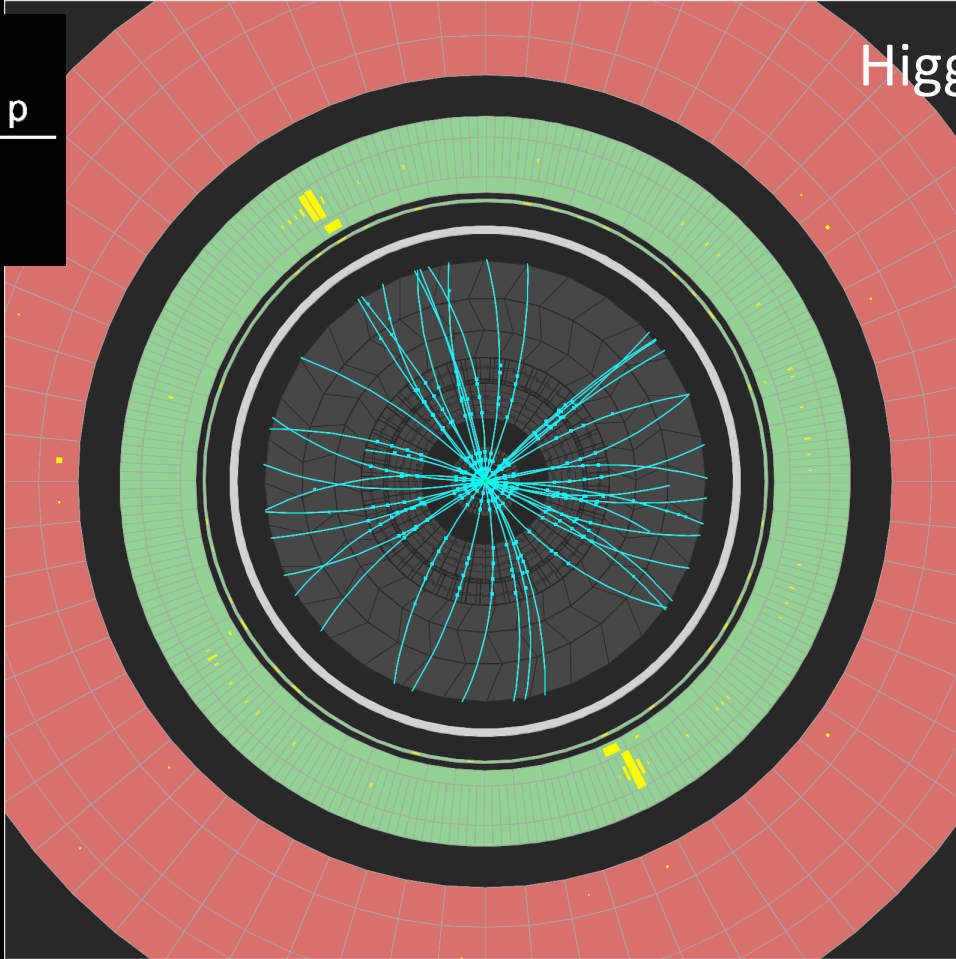
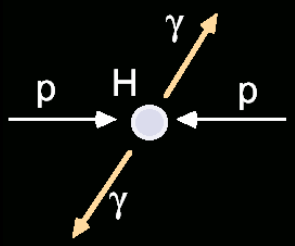
Ancak değişmez kütle hep 126 değildir. 126'in etrafında bir dağılım gösterir. Bu dağılımın en önemli sebebi algıç çözünürlüğünün mükemmel olmamasıdır. Ölçümdeki belirsizlik Higgs kütle dağılımına yansır.

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



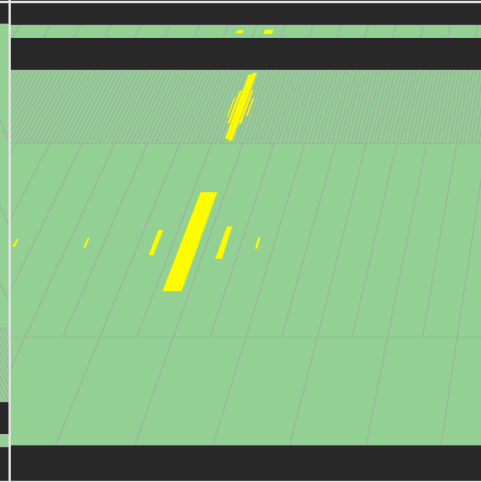
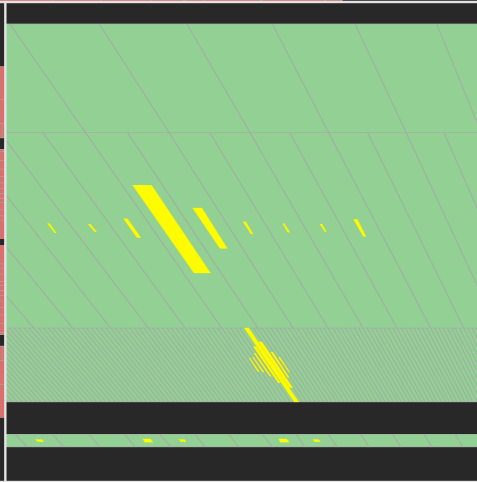
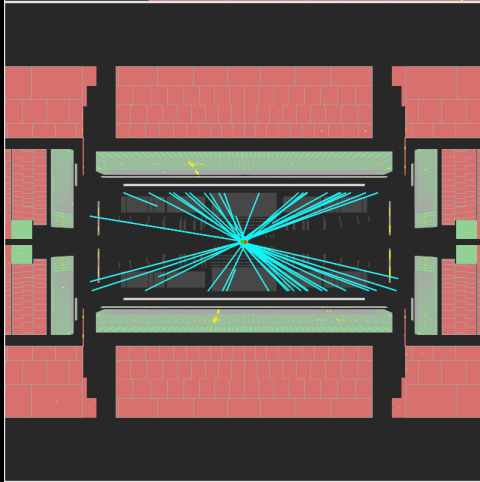
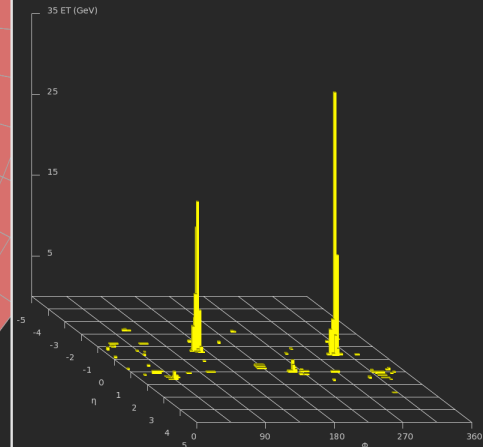


Higgs  $\rightarrow$  2photon olayı

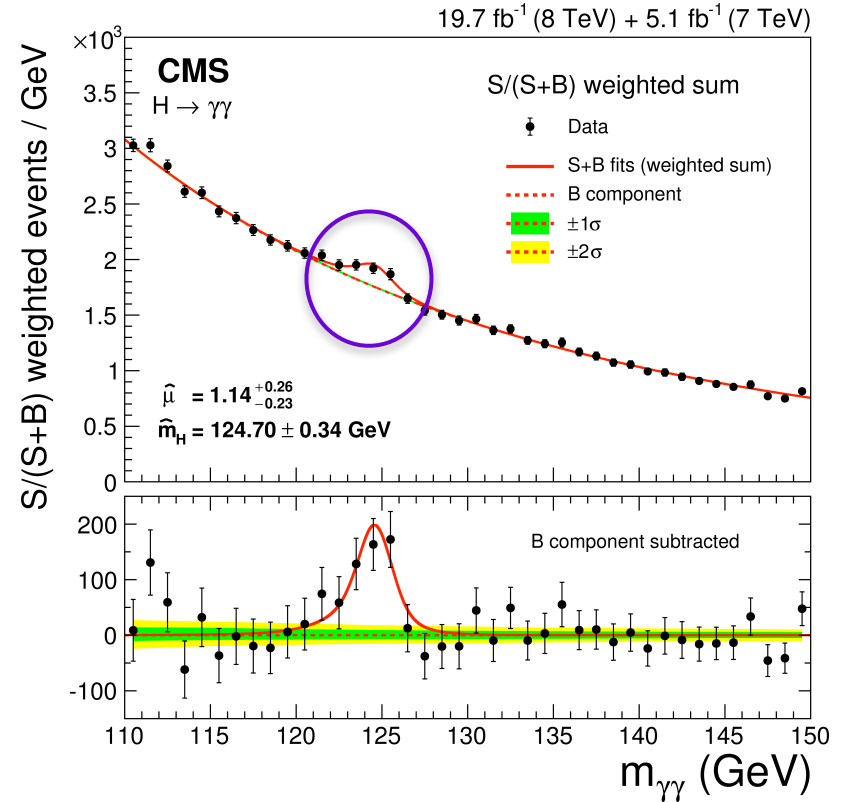
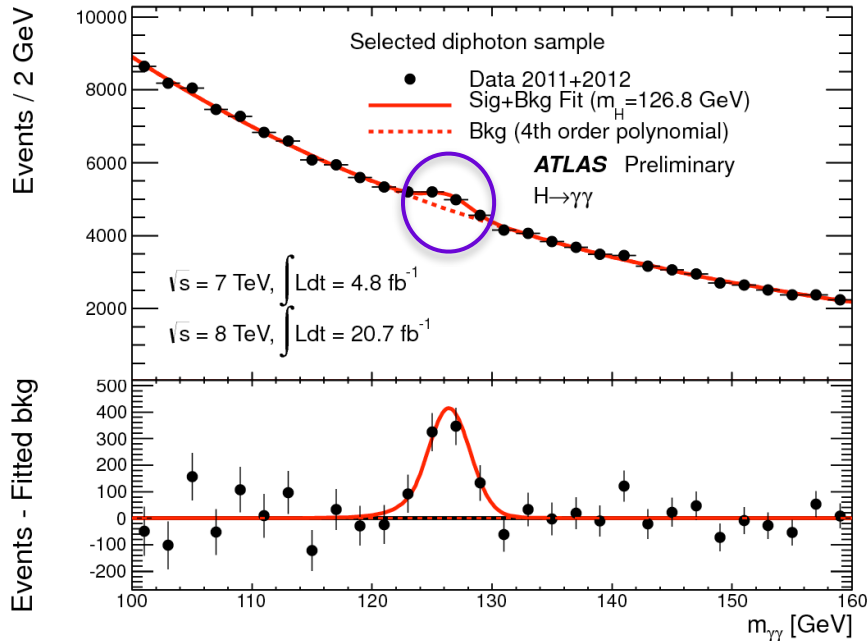


Run Number: 191426, Event Number: 86694500

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

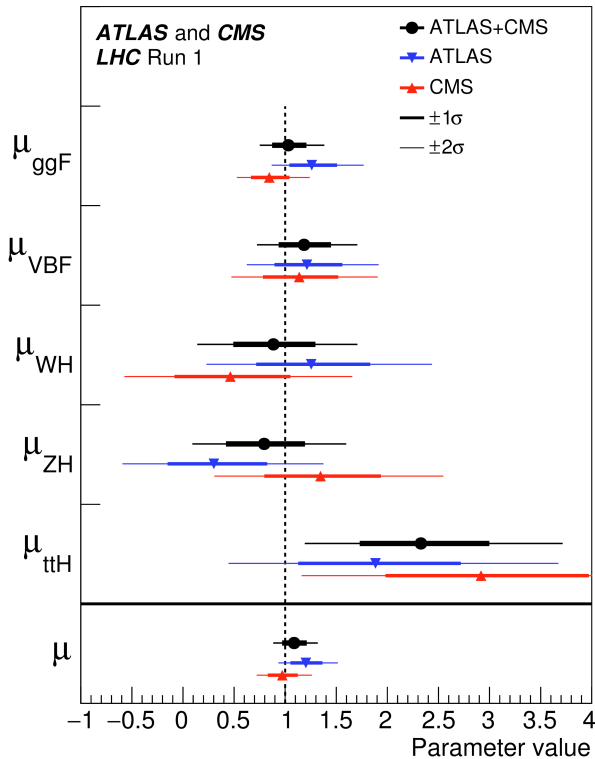
Bir kanal için  **sinyal gücü**:

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

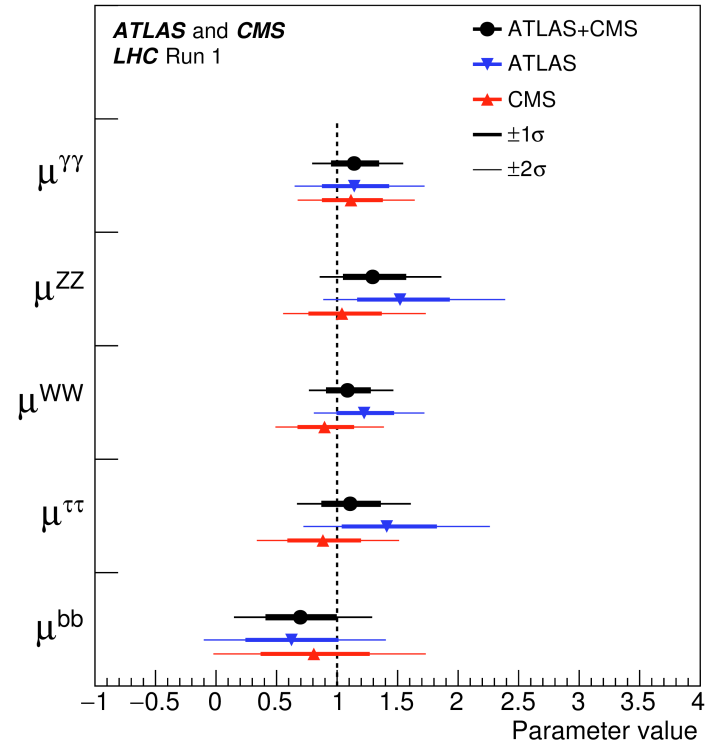
$\mu = 0$ : Higgs yok

$\mu = 1$ : Higgs SM ile uygun

Tesir kesitleri



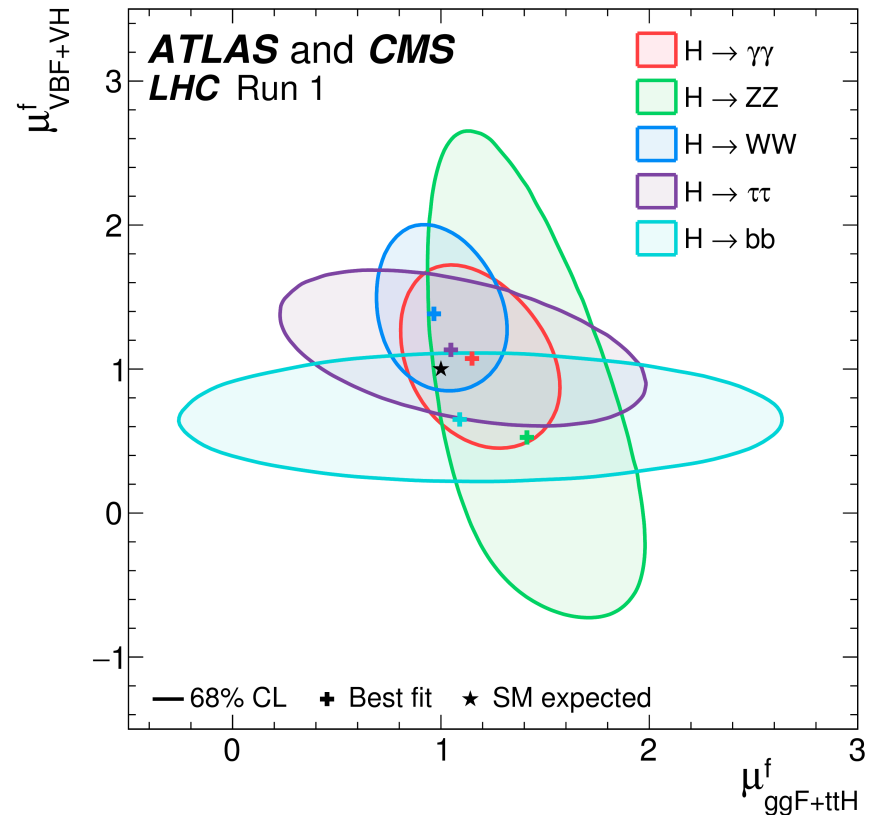
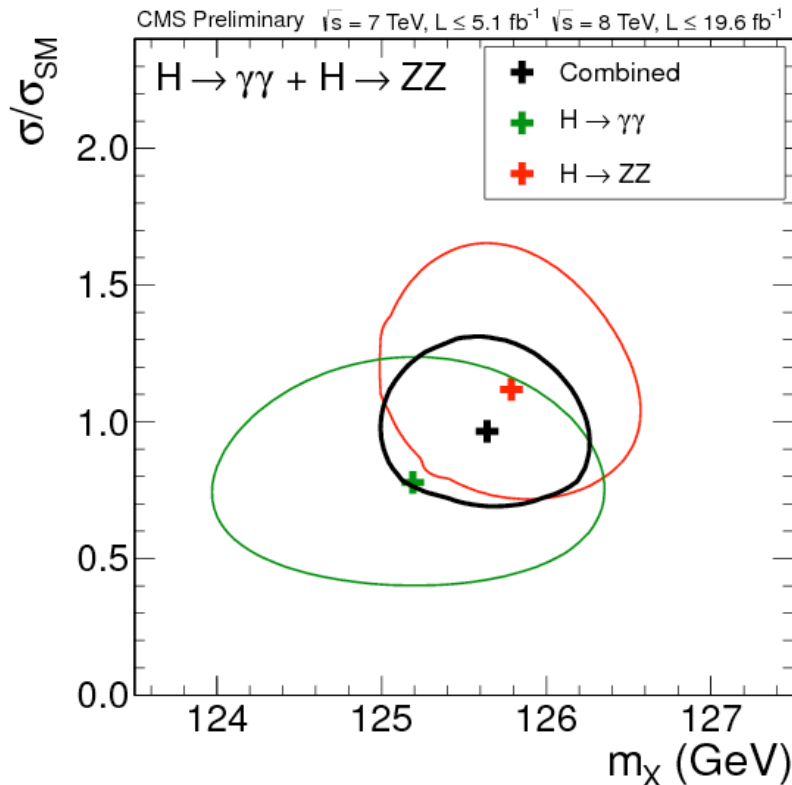
Dallanma oranlari



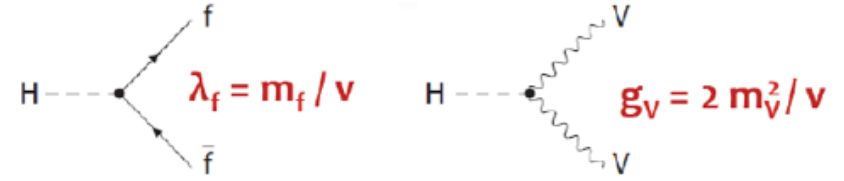
# Higgs Standart Model'e ne kadar uygun? - II

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.

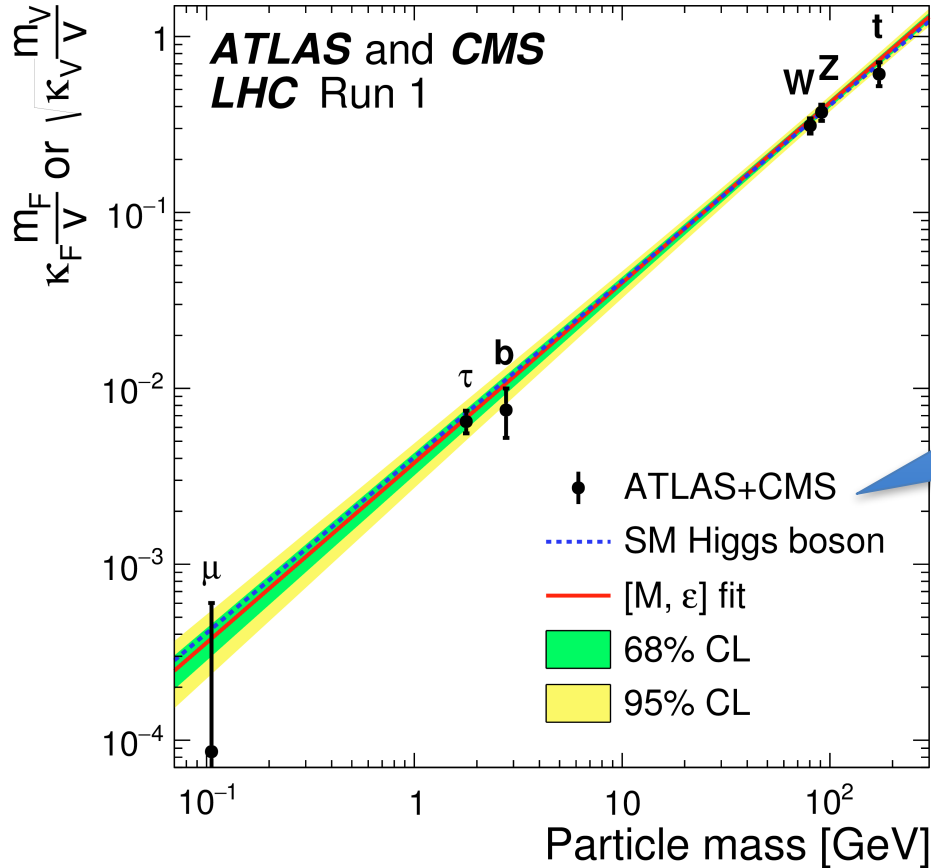
Bu bilgiler aynı zamanda çeşitli yeni fizik kuramlarının veriye uygunluğunu **sınamamızı** da sağlıyor.



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



$v$  : vakum beklenti değeri



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.**

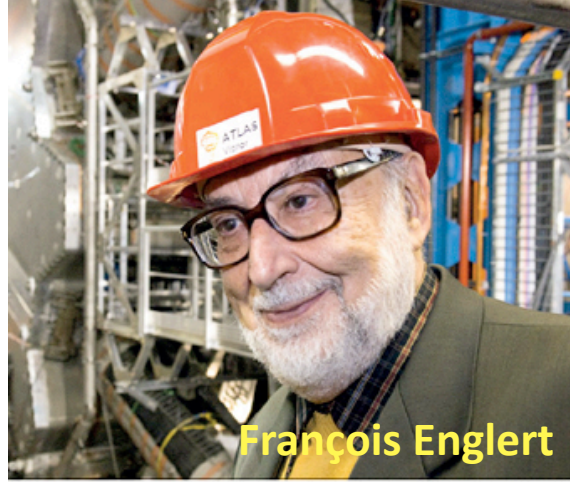
Bu ölçümde görülebilecek **bir sapma yeni fiziğe işaret olurdu!**



# 2013 Nobel Fizik Ödülü



*"Atomaltı parçacıkların kütesinin 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

## Sorular: Higgs keşfinin bilime katkısı

Higgs parçacığı olmasaydı ne olurdu? (Evren Coşkun)

Higgs bozonunun keşfi ile standart modelin açıklayamadığı durumlar hala var mıdır? (Kerem KANBUR)

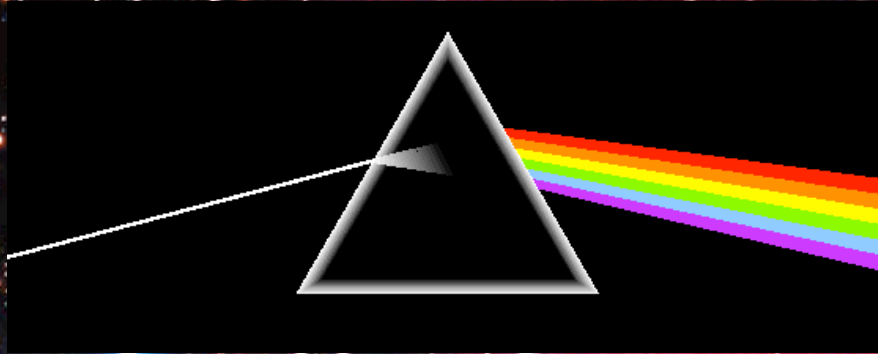
Higgs parçacığına hükmedilebilirse kütleyi enerjiye dönüştürüp başka bir ortamda enerjiyi tekrar kütleye dönüştürebilir miyiz? (Evren Coşkun)

Birgün higgs alanı ve keşfedilen diğer parçacıklar kullanılarak kendi maddemizi oluşturabilir miyiz? (Ayşegül Yıldırım)

Higgs parçacığının(alanının) teknolojiye nasıl bir katkısı olacağını düşünüyorsunuz? Bilgin Küçük



# 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 atomik yapı bozulurdu.
- Atomların yapı bozulunca galaksiler, gezegenler ve bizler varolamazdık.
- Evren ışık hızıyla yol alan benzer parçacıklarla dolu tekdüze bir yer olurdu!

# Keşiften bu yana neler öğrendik?

- Higgs başlangıçta (2012'de) sadece  $h \rightarrow ZZ$  ve  $h \rightarrow \gamma\gamma$  kanallarında gözlenmişti.
- 2013'te  $h \rightarrow WW$  kanalında gözlem gerçekleşti.
- 2013'te gluon birleşimi, vektor boson birleşimi ve  $Wh, Zh$  oluşma kanallarında gözlemler yapıldı.
- Yine 2013ten başlayarak Higgs oluşma ve bozunma oranları, Higgs dönüşü gibi özellikler ölçülmeye başlandı.
- 2014 yılında Higgs genliği ile ilgili ilk ölçümler başlandı.
- 13 TeVde 2 milyondan fazla Higgs üretilde.
- 2016'da  $h \rightarrow \tau\tau$  kanalında gözlem gerçekleşti.
- 2017-8'de  $h \rightarrow bb$  kanalında gözlem gerçekleşti.
- 2017-8'de top birleşimi ile oluşma ( $t\bar{t}H$ ) kanalında gözlem gerçekleşti.
- Geçen yıllar içerisinde SM ötesi kuramların öngördüğü daha hafif ya da daha ağır başka Higgs parçacıkları imkan olan her kanalda arandı.

# Bundan sonra ne bekliyoruz?

- LHC daha en az 10 yıl çalışacak ve çarpışmalarda en az **100 milyon Higgs** üretecek.
- **tt birleşmesi** ve **bb bozunması** kanallarında daha ayrıntılı ölçümler yapılacak.
- 2020li yıllarda LHCde olacak teknik gelişmelerden sonra  $h \rightarrow \mu\mu$ ,  $h \rightarrow Z\gamma$  ve  $h \rightarrow cc$  gibi **nadir bozunma kanallarında** gözlem için gereken veri toplanabilecek. Bu kanallarda yeni fiziğe duyarlılık çok daha fazla.
- Yeni veriler sayesinde **Higgs ve karanlık madde ilişkisi** daha yakından incelenecek.
- SM ötesi kuramların önerdiği **yeni Higgs parçacıkları** aranmaya devam edilecek.
- LHCden sonra inşa edilecek **yeni hızlandırıcının** ne olacağını bu çalışmalar belirleyecek. Higgs araştırmalarında görevi bu yeni hızlandırıcı devralacak.



## Sorular: Higgs ve evren - I

Uzayın herhangi bir bölgesinde Higgs alanını sıfırlamak mümkün olabilir mi? Enerji vererek veya başka yolla. Eğer bu mümkün olursa parçacıklar bu bölgede kütsesiz hale gelir miydi?

Foton mu Higgs mi önce oluşmuştur? (Talip Taş)

Big bang ile Higgs parçacığı arasında nasıl bir ilişki olduğunu düşünüyorsunuz? (Bilgin Küçük)

Kütleçekimi dalgalarıyla Higgs alanının bir ilişkisi var mı? (Bahattin Kılıç)

## Sorular: Higgs ve evren - II

Karanlık enerji ve Higgs bağlantısı nedir? (Keziban Evran)

Evrende egzotik madde var mı? NASA'nın Warp Drive projesi kusursuz bir kuantum kütleçekim alanı ile hayata geçebilir mi? Warp motorları uzay zamanı bükerek göreceli olarak ışık hızının katlarına çıkmamıza izin verir mi? Peki bunun Higgs alanı ile ilgisi var mı? Kütlenin oluşumu Higgs alanı ve etkileri graviton alanı ile ilgili olduğuna göre bunların ayrı düşünölemeyeceğini sanıyorum. Sizin fikirlerinizi merak ediyorum.

(Keziban Evran)

# 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.