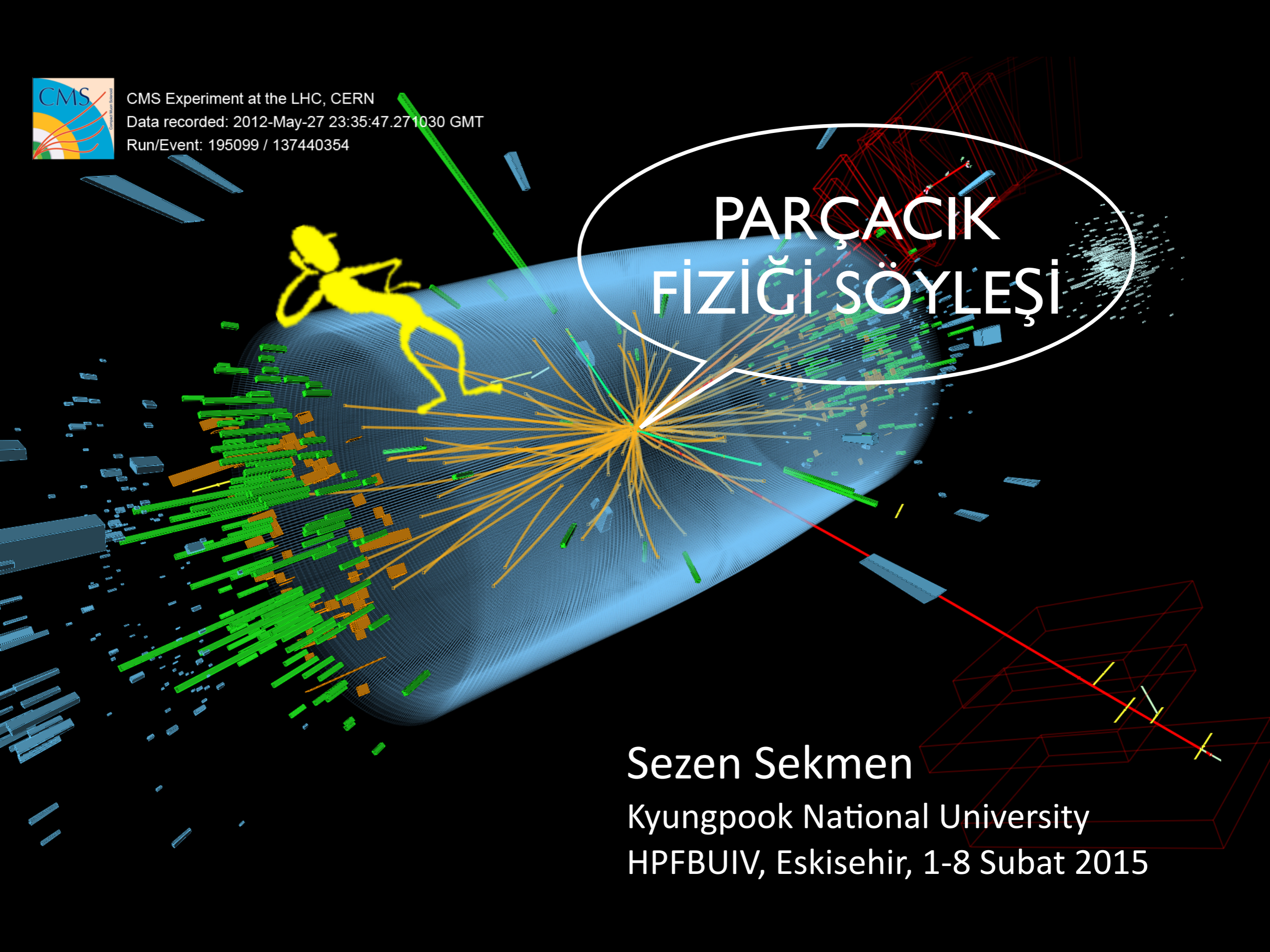




CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2012-May-27 23:35:47.271030 GMT
Run/Event: 195099 / 137440354

PARÇACIK FİZİĞİ SÖYLEŞİ



Sezen Sekmen
Kyungpook National University
HPFBUIV, Eskisehir, 1-8 Subat 2015

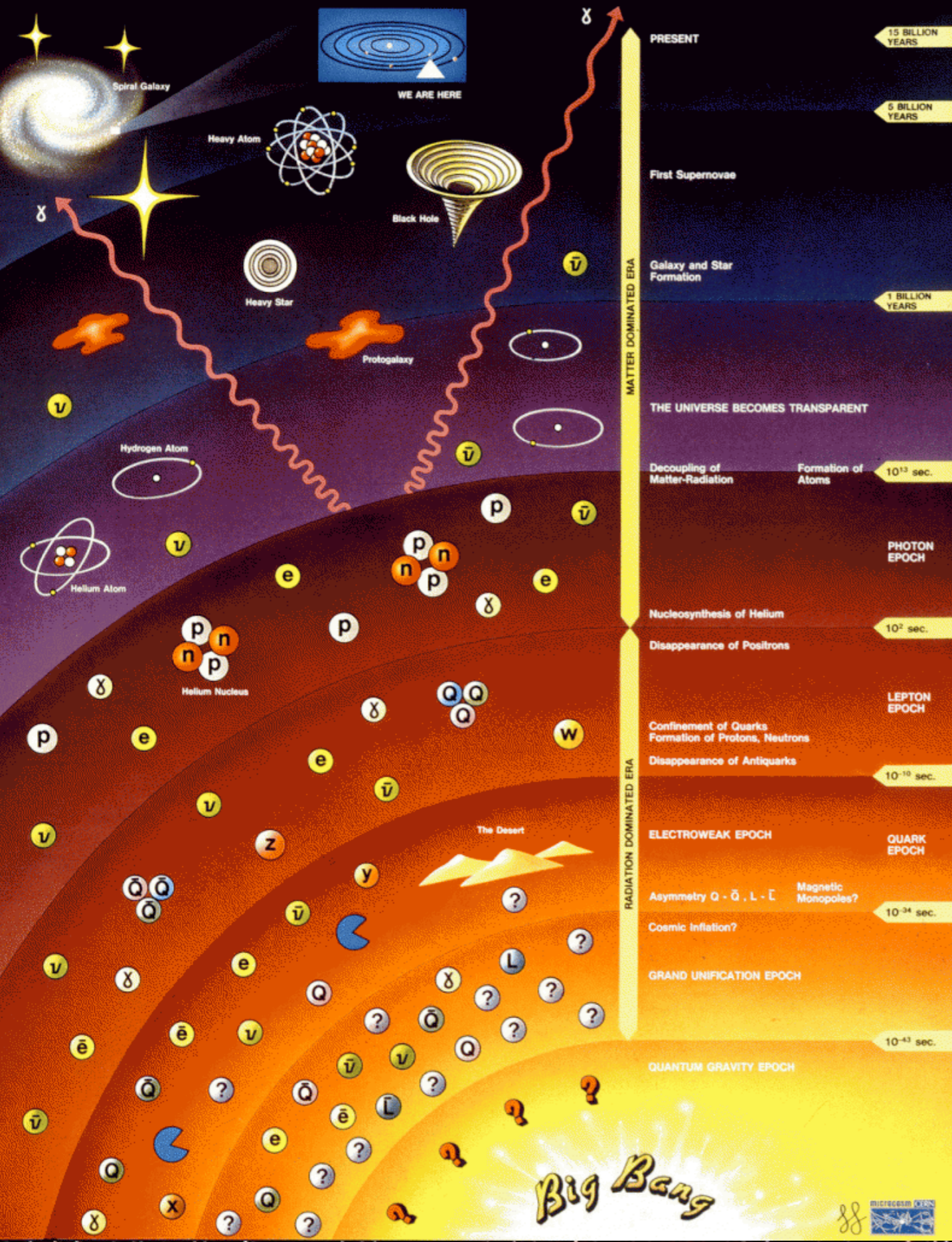
Parçacık fiziği doğadaki

temel (bölünemez)
parçacıkları

ve aralarındaki
temel etkileşimleri

anlamaya çalışır.

History of the Universe



Büyük patlama sonrasında evrenin gelişimi parçacıklar ve etkileşimleri ile doğrudan ilişkilidir.

Parçacık fiziği ve evrenbilim birbirlerine ışık tutar.

Standart Model

Standart Model (SM) temel parçacıklar ve etkileşimler hakkındaki bütün bilgilerimizi içeren bir kuramlar bütünüdür.

	mass →	≈2.3 MeV/c ²	≈1.275 GeV/c ²	≈173.07 GeV/c ²	0	≈126 GeV/c ²
charge →	2/3	2/3	2/3	0	0	0
spin →	1/2	1/2	1/2	1	0	0
		u up	c charm	t top	g gluon	H Higgs boson
QUARKS		≈4.8 MeV/c ²	≈95 MeV/c ²	≈4.18 GeV/c ²	0	
	-1/3	d down	s strange	b bottom	γ photon	
	1/2				1	
	0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	91.2 GeV/c ²		
	-1	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson	
	1/2				0	
	<2.2 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	80.4 GeV/c ²		
LEPTONS	0	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	
	1/2				±1	
					1	
						GAUGE BOSONS

- Her kuarktan **3 renk**.
- Her parçacığa bir **karşıparçacık**.
- Etkileşimleri yönlendiren **kuvvet taşıyıcılar**.
- Parçacıklar **Higgs mekanizması** ile kütle kazanır.
- Toplamda 61 parçacık.
- **SU(3)xSU(2)xU(1) içsel simetrisine** sahiptir.

Standart Model: Etkileşimler

Güçlü: Kuarkları bağlayıp hadronları oluşturur.



Higgs: Maddeye kütesini verir.



Elektromanyetik: Elektrik, mıknatıslık. Elektronları çekirdeğe bağlamak, tüm kimyasal etkileşimler

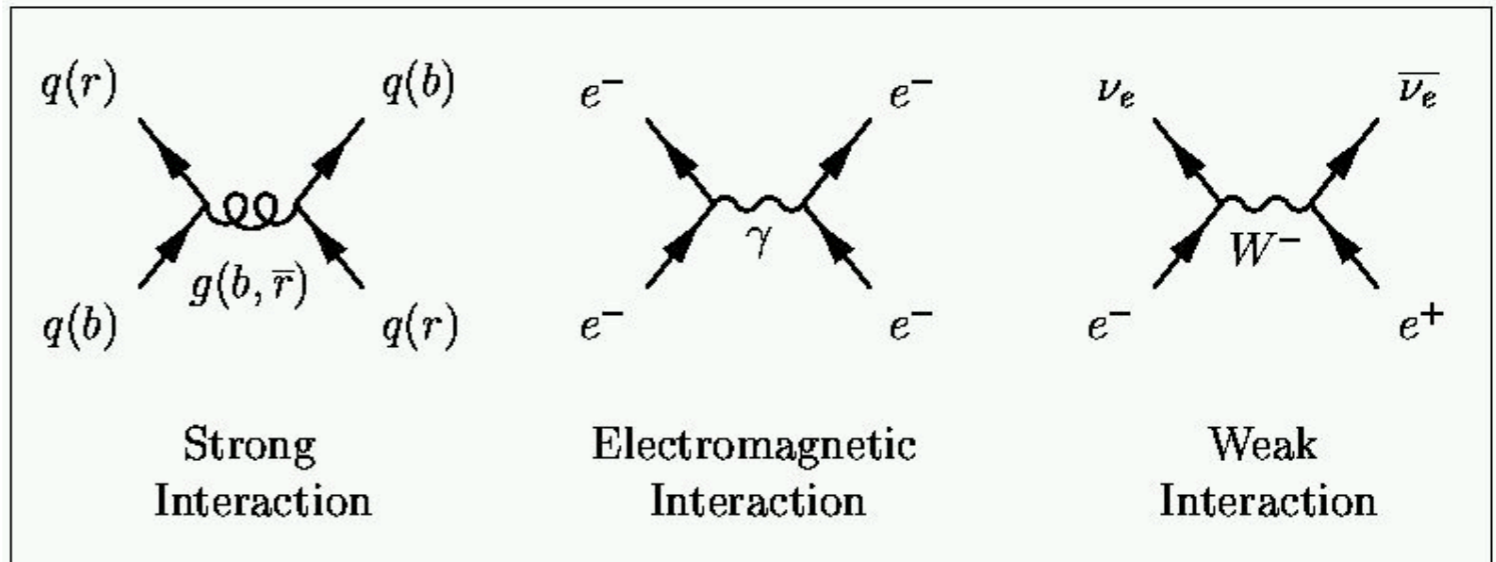
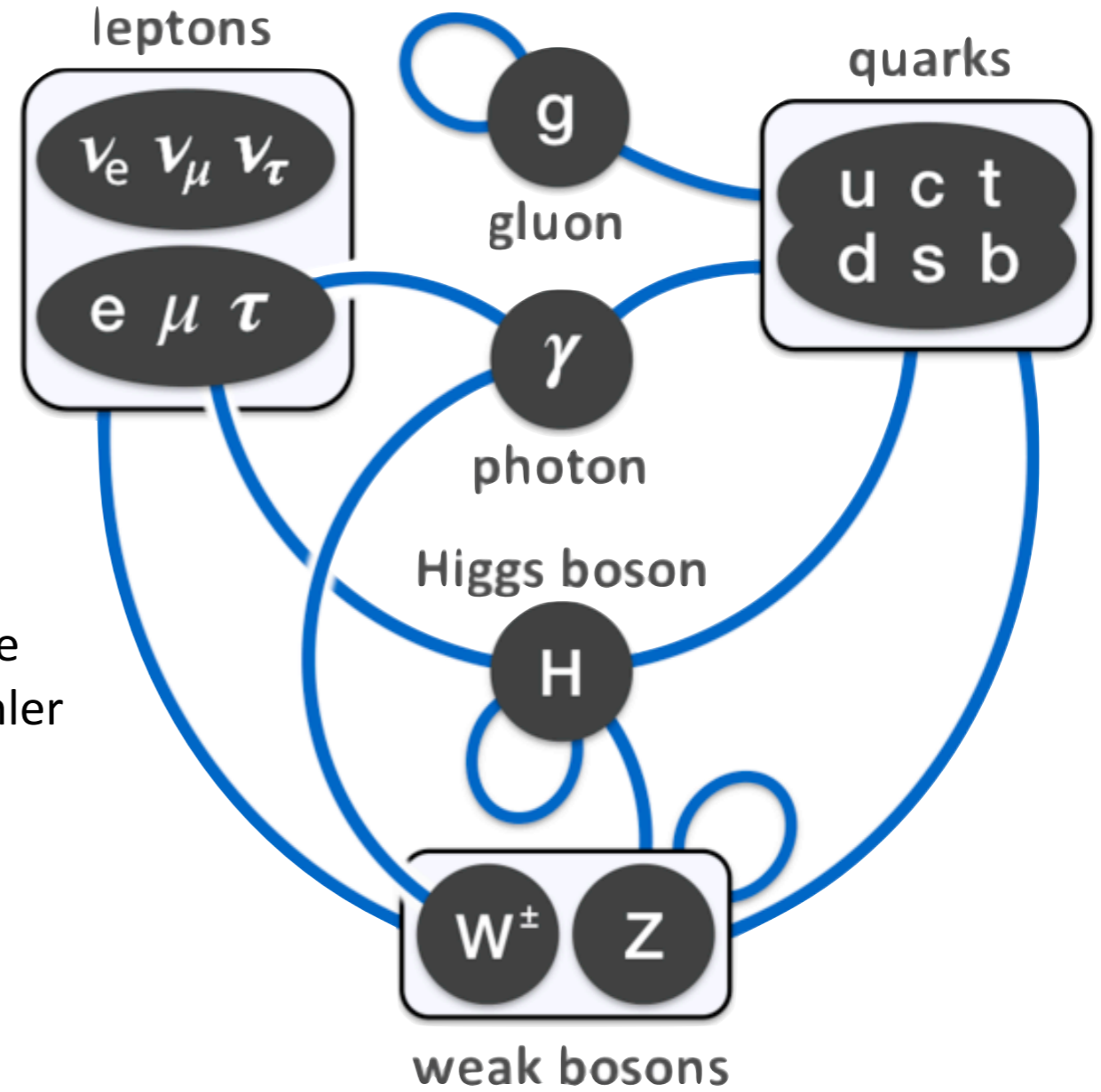


Zayıf: Radyoaktivite. Yıldızların merkezinde olan çekirdek tepkimelerine sebep verir.



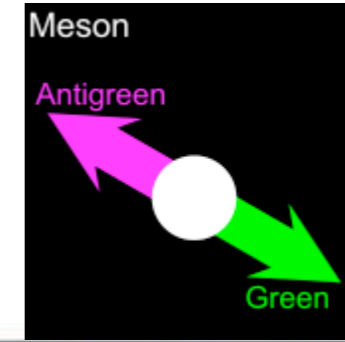
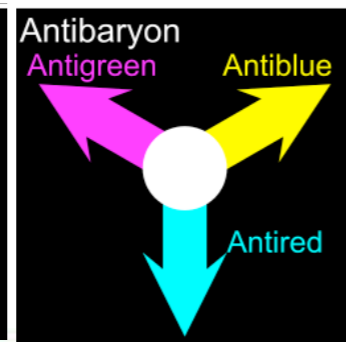
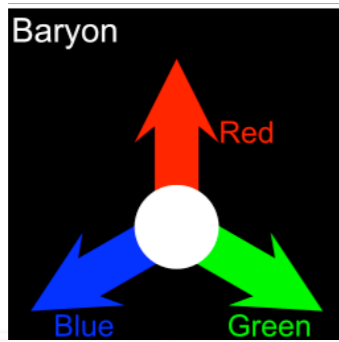
GAUGE BOSONS

Kütleçekim: Kütesi olan tüm maddelerin arasında vardır. Etkileşim parçacığı **graviton**'dur. Henüz SM çerçevesinde tanımlanamıyor.



Standart Model: Etkileşimler

Kuarklar renk yükü taşır. Asimptotik özgürlük kuralına göre doğada serbest renk olamaz. Kuarklar iki türlü birleşerek renksiz hadronları oluştururlar.



Baryons qqq and Antibaryons $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$					
Baryons are fermionic hadrons.					
These are a few of the many types of baryons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c^2	Spin
p	proton	uud	1	0.938	1/2
\bar{p}	antiproton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	0.938	1/2
n	neutron	udd	0	0.940	1/2
Λ	lambda	uds	0	1.116	1/2
Ω^-	omega	sss	-1	1.672	3/2

Mesons $q\bar{q}$					
Mesons are bosonic hadrons					
These are a few of the many types of mesons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c^2	Spin
π^+	pion	$u\bar{d}$	+1	0.140	0
K^-	kaon	$s\bar{u}$	-1	0.494	0
ρ^+	rho	$u\bar{d}$	+1	0.776	1
B^0	B-zero	$d\bar{b}$	0	5.279	0
η_c	eta-c	$c\bar{c}$	0	2.980	0

Standart Model: Saygın bir tarih

Standart model yüz yıllık emeğin sonunda ortaya çıktı.

Oluşturulmasında **kuram ve deney iç içe** yer aldı.

SM kuramsal olarak tutarlıdır, ve deney/gözlem ile doğrulanmıştır.

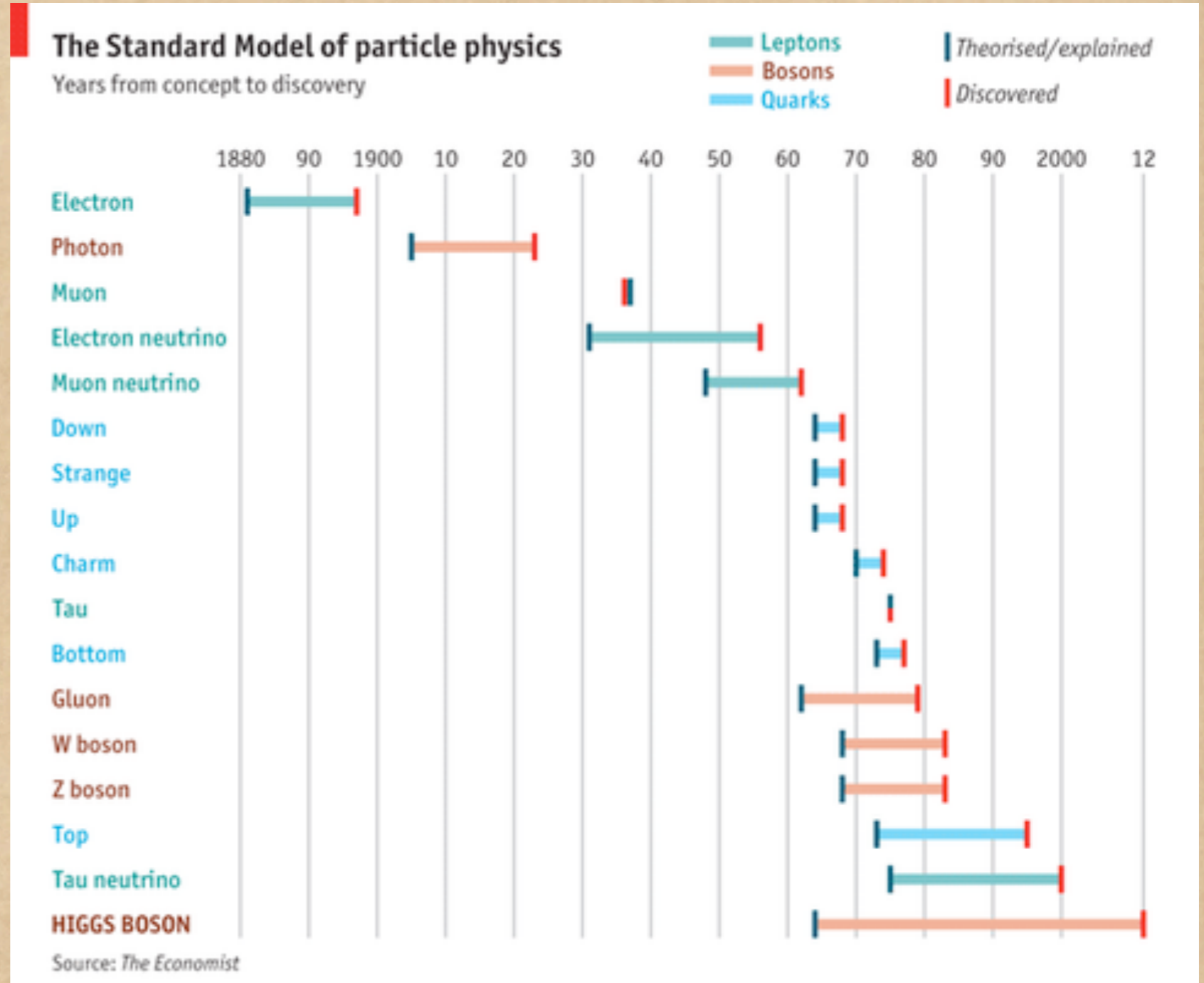
SM keşfi bilimsel yöntemin işleyişine iyi bir örnektir.

Bilimsel yöntem:

→ deney/gözlem sonuçlarını açıklayan bir varsayım üret,

→ varsayımı farklı deneylerle sına,

→ doğrula, ya da yanlışsa yenisini üret.

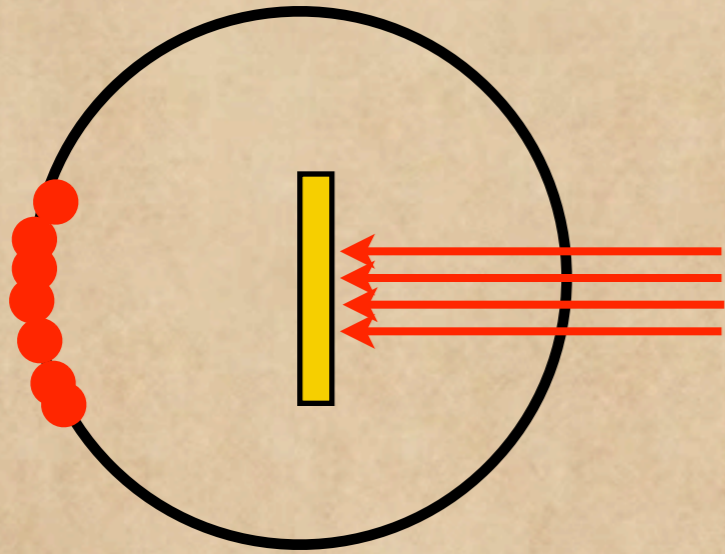
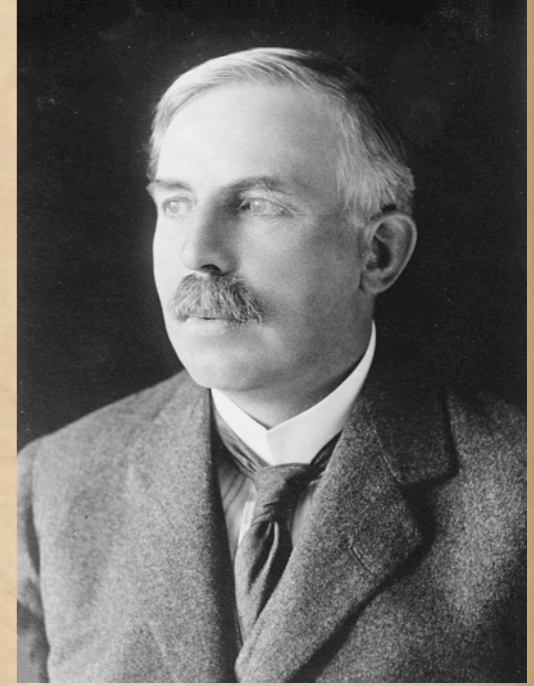


SM geçmişinden: Çekirdeğin keşfi

beklenenden farklı olan

Sene 1904...elektron kaşifi Thompson atomun içinde artı ve eksi yüklerin eşit dağılımla yüzdüğünü öneriyordu.

Rutherford, Geiger ve Marsden bu öneriyi sınamak için 1911'de altın folyolara He+ çekirdekleri ateşlediler. İik kez mikroskopla görülmeyen parçacıkların içi araştırılıyordu.



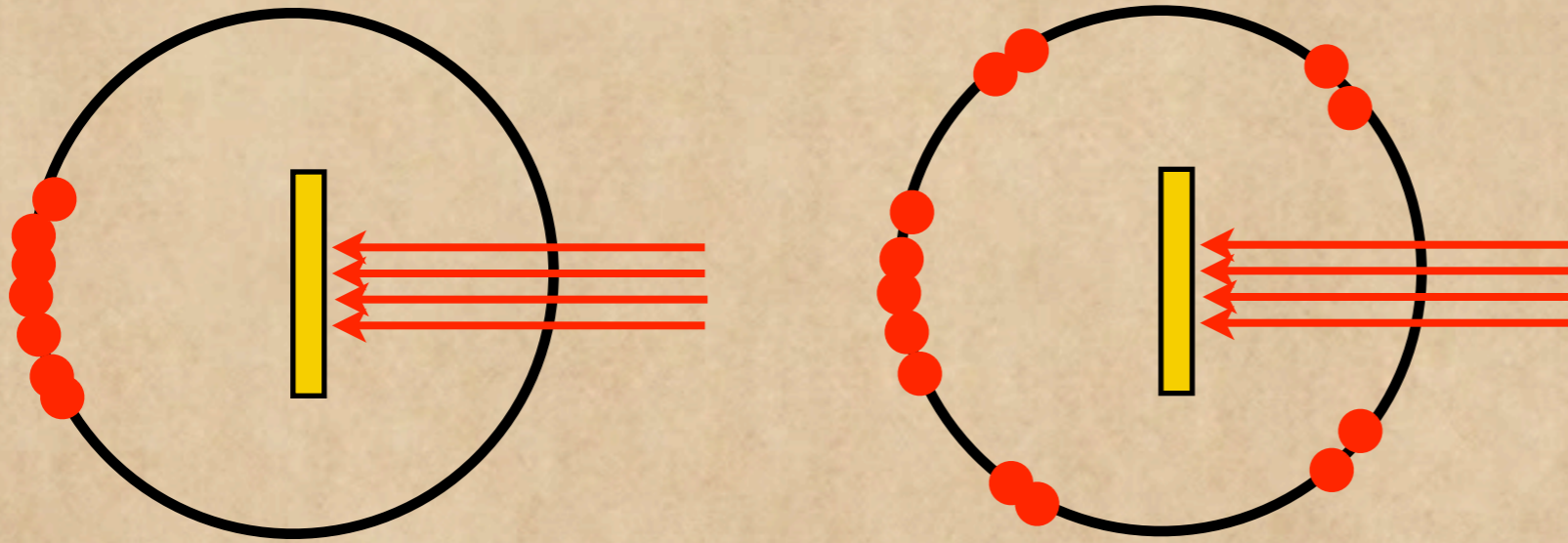
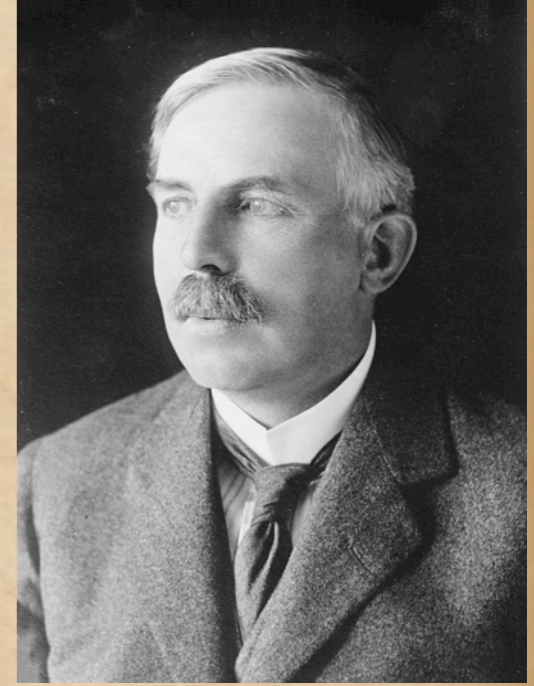
beklenen

SM geçmişinden: Çekirdeğin keşfi

beklenenden farklı olan

Sene 1904...elektron keşfi Thompson atomun içinde artı ve eksi yüklerin eşit dağılımla yüzdüğünü öneriyordu.

Rutherford, Geiger ve Marsden bu öneriyi sınamak için 1911'de altın folyolara He^+ çekirdekleri ateşlediler. İlk kez mikroskopla görülmeyen parçacıkların içi araştırılıyordu.



beklenen

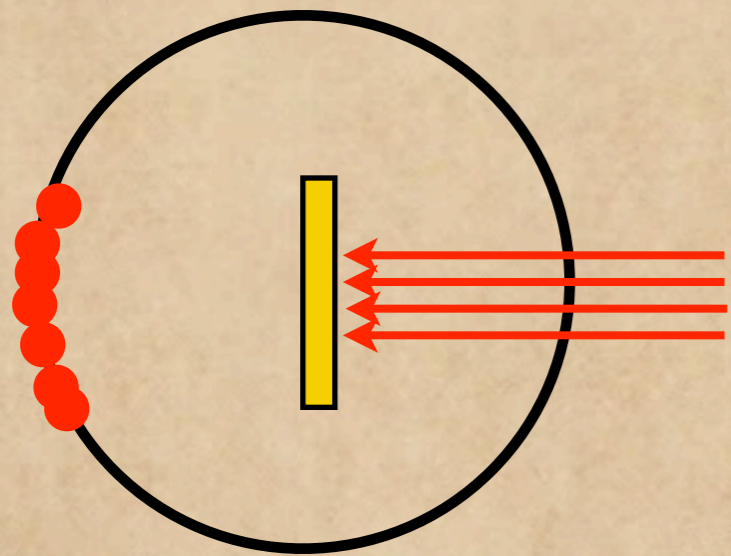
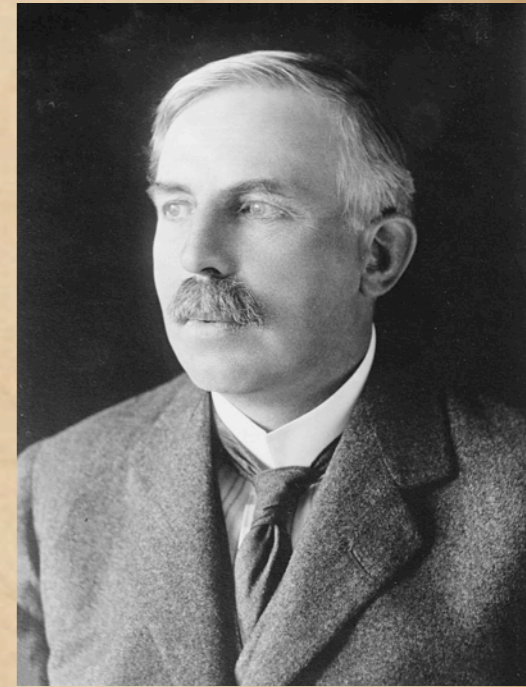
gözlenen

SM geçmişinden: Çekirdeğin keşfi

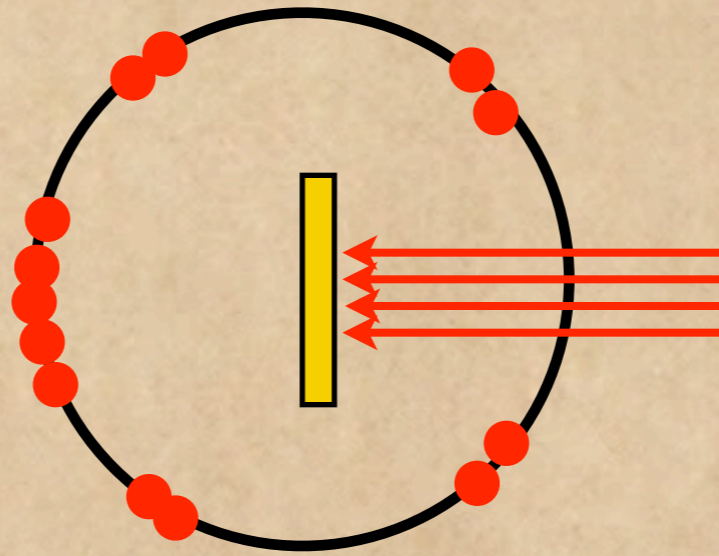
beklenenden farklı olan

Sene 1904...elektron keşfi Thompson atomun içinde artı ve eksi yüklerin eşit dağılımla yüzdüğünü öneriyordu.

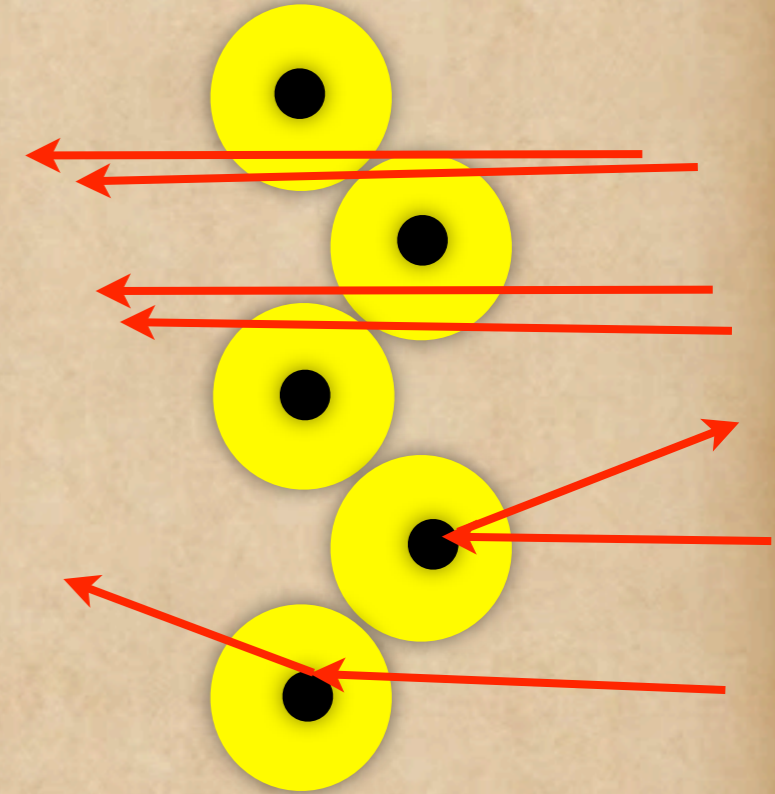
Rutherford, Geiger ve Marsden bu öneriyi sınamak için 1911'de altın folyolara He^+ çekirdekleri ateşlediler. İlk kez mikroskopla görülmeyen parçacıkların içi araştırılıyordu.



beklenen



gözlenen



açıklama

Sonuç: Deneyin zaferi - merkezdeki yoğun çekirdek ve etrafta dönen elektronlar ile açıklanan Rutherford-Bohr atomu.

SM geçmişinden: Muon keşfi

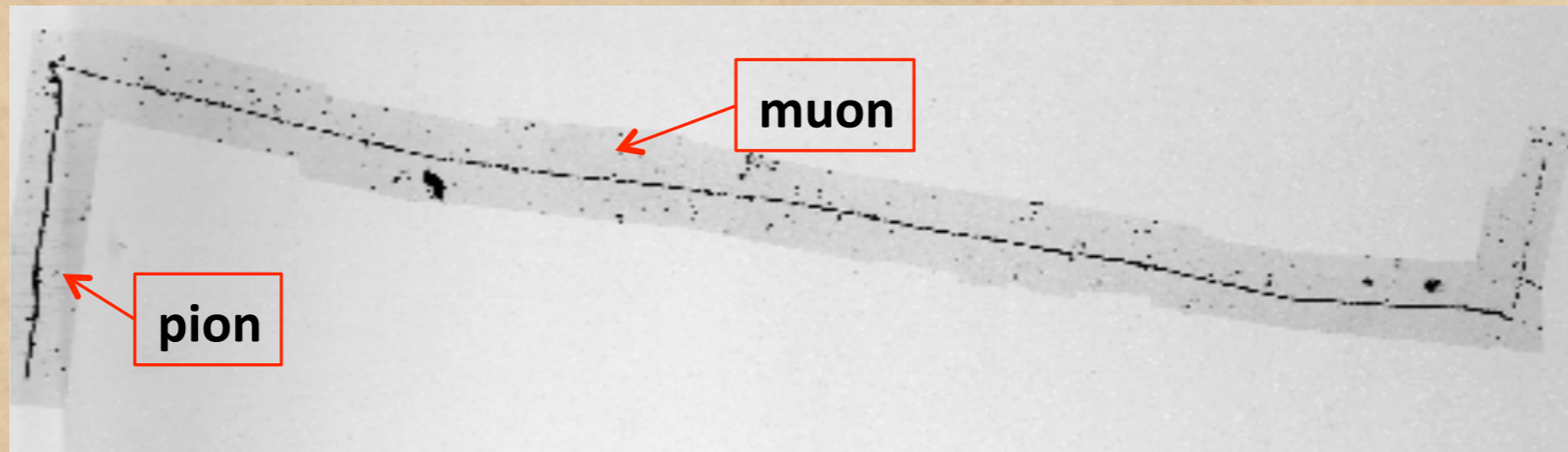
beklenmeden gelen

Sene 1936...Anderson ve Neddermayer bulut odasında kozmik ışınları incelerken **eksi yüklü, ama manyetik alanda elektrondan daha az, protondan daha fazla bükülen bir parçacık gözlediler.**

Elektrondan ağır protondan hafif bu yeni parçacığın ne olduğunu başta kimse bilemedi. Adına mu mezon dendi.

O sırada benzer kütlede olan pi mezonlar gözlemlendi - pi'leri diğerkileri takip etti. Fakat hızlandırıcı ve kozmik ışınlar pi ve sonrakilerin her türlü etkileştiğini görürken mu'lerin güçlü etkileşmediğini gördü.

İçe anlam veremeyen Isidor Rabi "*Bunu kim ismarladı ki?!*" dedi. Sonunda muon'un elektronun ağır kuzeni olduğu anlaşıldı.



SM geçmişinden: Muon keşfi

beklenmeden gelen

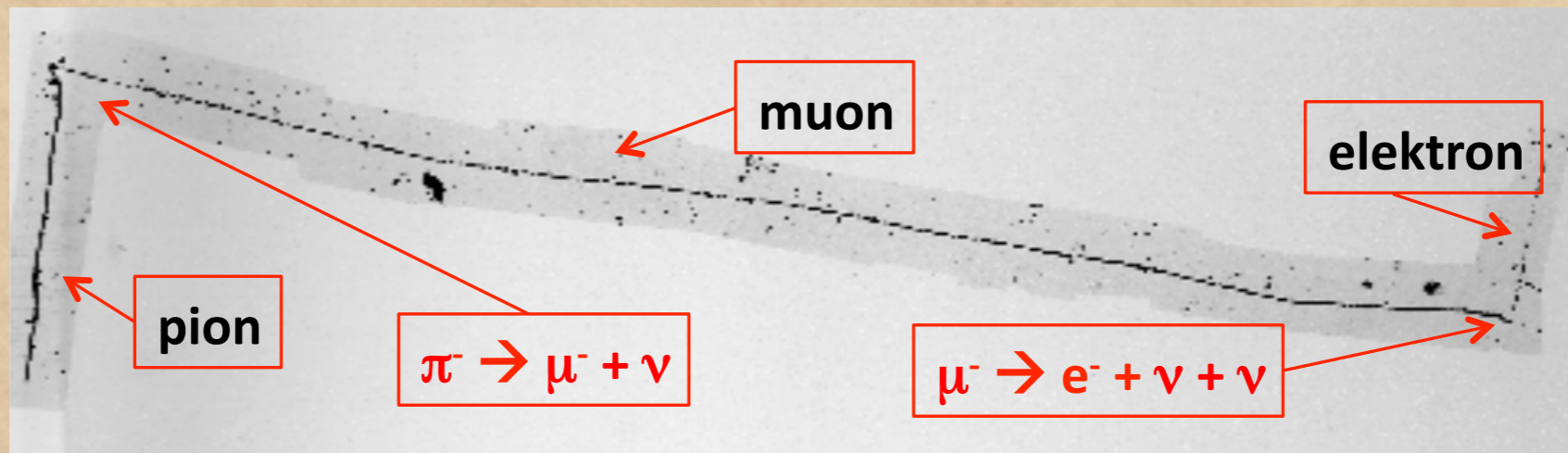
Sene 1936...Anderson ve Neddermayer bulut odasında kozmik ışınları incelerken **eksi yüklü, ama manyetik alanda elektrondan daha az, protondan daha fazla bükülen bir parçacık gözlediler.**

Elektrondan ağır protondan hafif bu yeni parçacığın ne olduğunu başta kimse bilemedi. Adına mu mezon dendi.

O sırada benzer kütlede olan pi mezonlar gözlemlendi - pi'leri diğerkileri takip etti. Fakat hızlandırıcı ve kozmik ışınlar pi ve sonrakilerin her türlü etkileştiğini görürken mu'lerin güçlü etkileşmediğini gördü.

İçe anlam veremeyen Isidor Rabi "*Bunu kim ismarladı ki?!*" dedi.

Sonunda muon'un elektronun ağır kuzeni olduğu anlaşıldı.



SM geçmişinden: Top kuark keşfi

beklenip de gelen

1973te Kobayashi ve Maskawa 3. aileyi önermiş, 1977de b quark keşfedilmişti. b kuark ile eş olacak top kuarkın varolması gerektiği düşünülüyordu.

1980lar... Top kuarkın özellikleri hesaplanabiliyor, ama kütlesi bilinmiyordu. SLAC, DESY ve CERNdeki hızlandırıcıların top kuark yapmaya enerjileri yetmedi. Top daha ağır olmalıydı.

Top kuark sonunda 1995te Fermilab Tevatron'da D0 ve CDF deneylerince 176 GeV kütlede gözlemlendi.

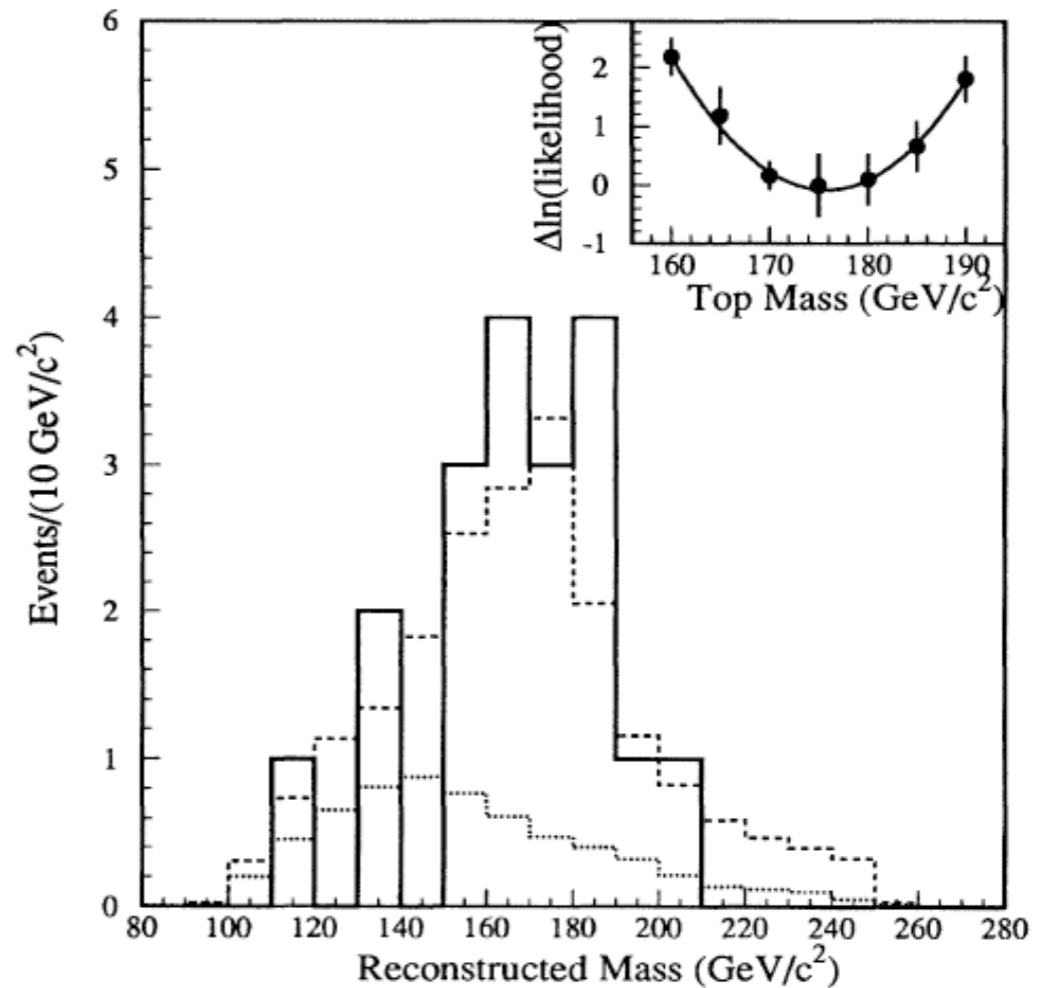


FIG. 3. Reconstructed mass distribution for the b -tagged $W + \geq 4$ -jet events (solid). Also shown are the background shape (dotted) and the sum of background plus $t\bar{t}$ Monte Carlo simulations for $M_{top} = 175$ GeV/c² (dashed), with the background constrained to the calculated value, $6.9^{+2.5}_{-1.9}$ events. The inset shows the likelihood fit used to determine the top mass.

Peki ya şimdi?

Ne bekliyoruz bilmiyoruz. ama yine de gelsin istiyoruz!

Ya SM ile uyuşmayan beklenmedik bir gözlem yapacağız ve gözleme göre yeni bir kuram oluşturacağız.

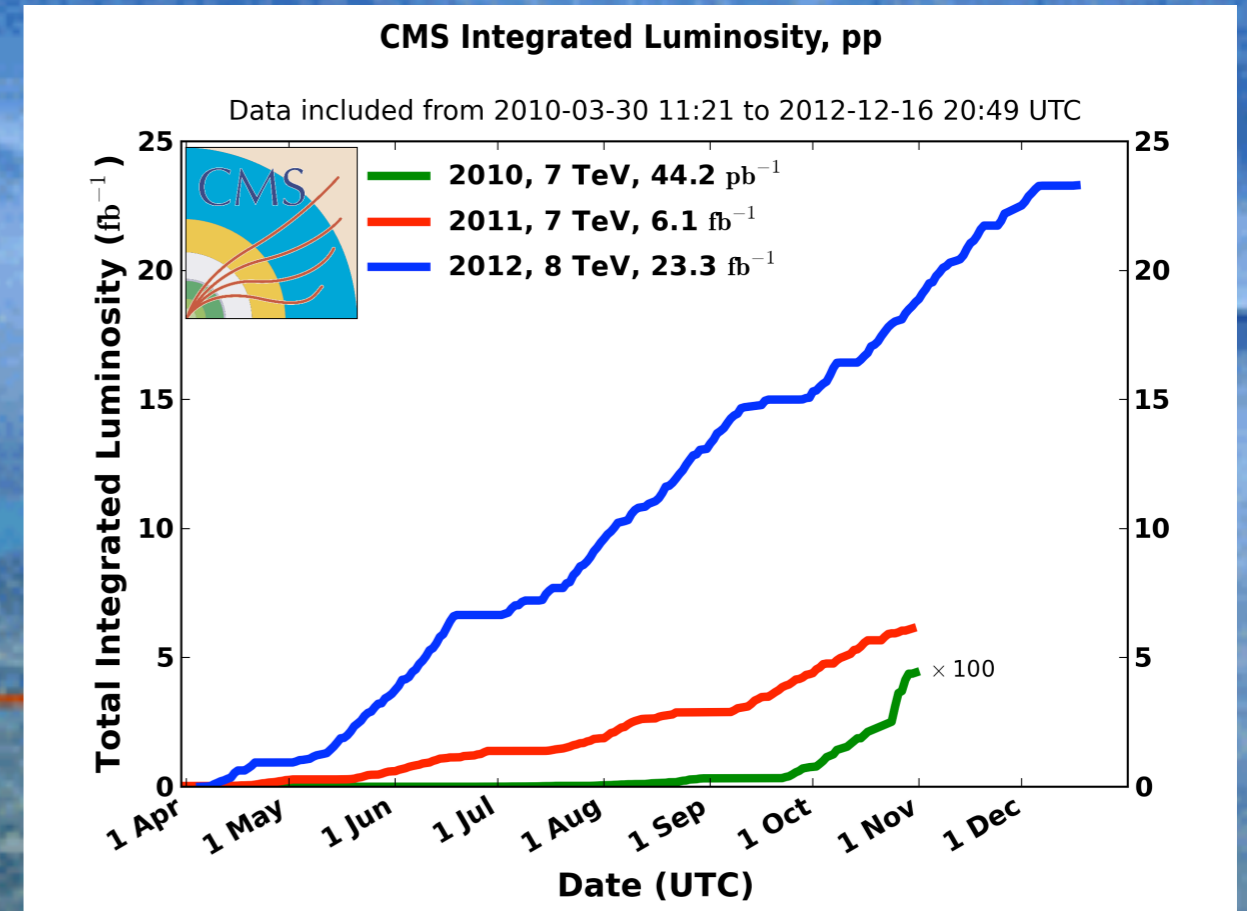
Ya da SM'in eksiklerinden çıkıp yeni kuramlar önererek onların izlerini araştıracağız.

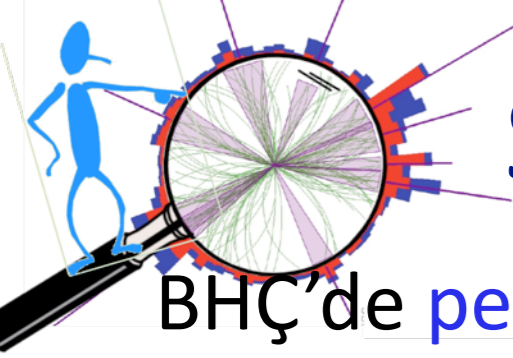
Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ) ile fizik

BHÇ'deki **ATLAS** ve **CMS** deneyleri 2010-2013 yılları arasında yaklaşık **30fb^{-1}** 7+8 TeV veri topladılar. Bu verilerle çok zengin bir fizik programı gerçekleştirildi.

Ana başlıklar:

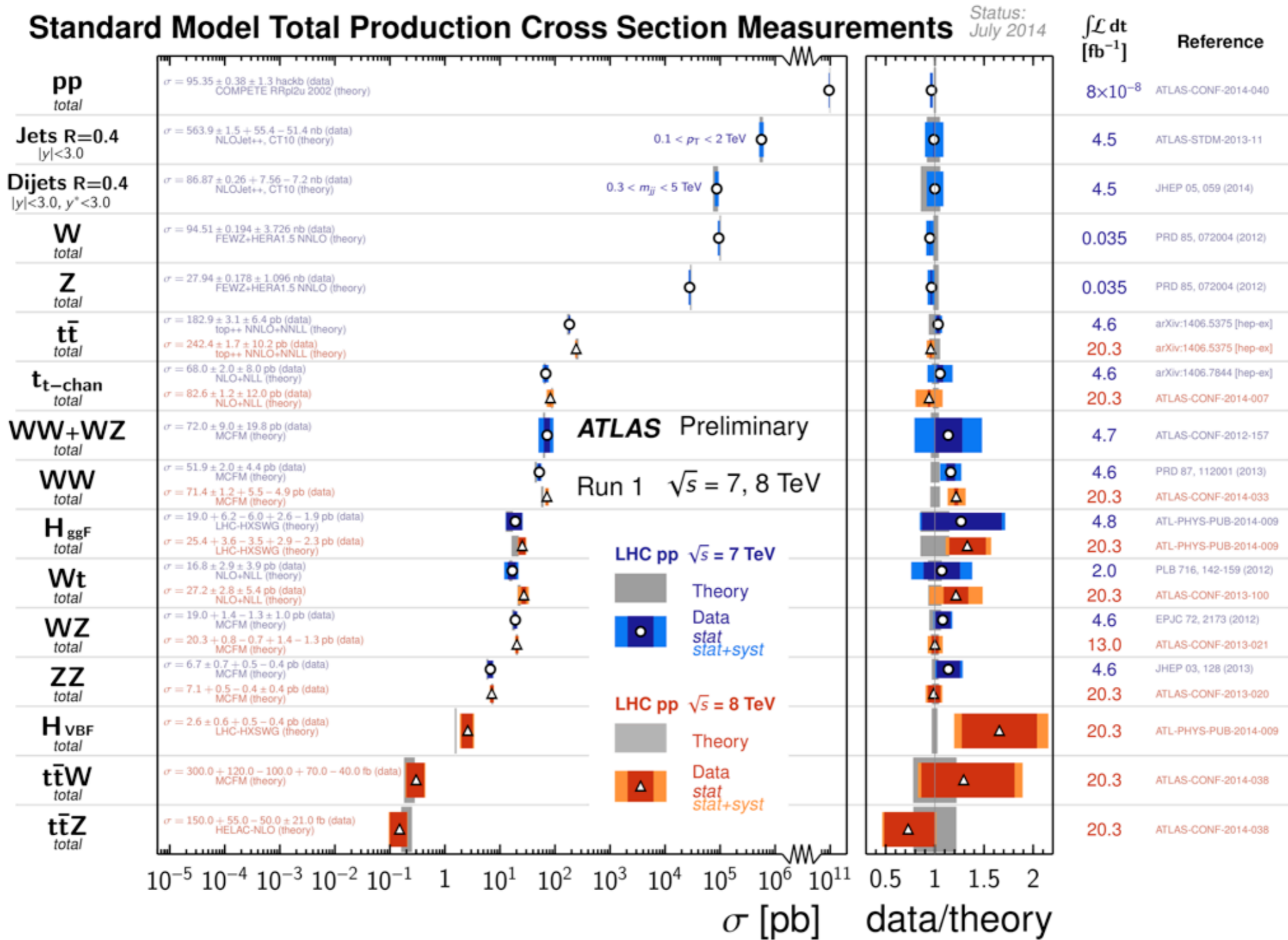
- **SM kesinlik ölçümleri** (QCD, elektrozaıf bosonlar, W/Z ve top kuark ölçümleri).
- **125 GeV kütlede Higgs bosonu keşfi** ve özelliklerinin ölçümü
- Çok çeşitli son durumlarda **yeni fizik arayışı**.

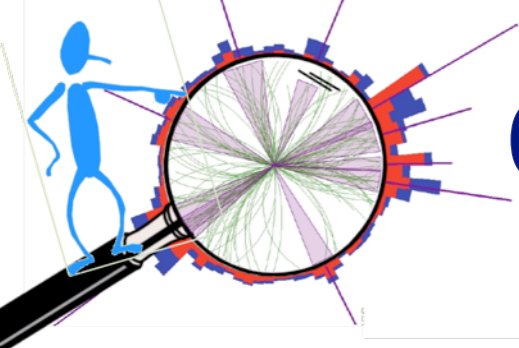




SM tesir kesiti ölçümleri

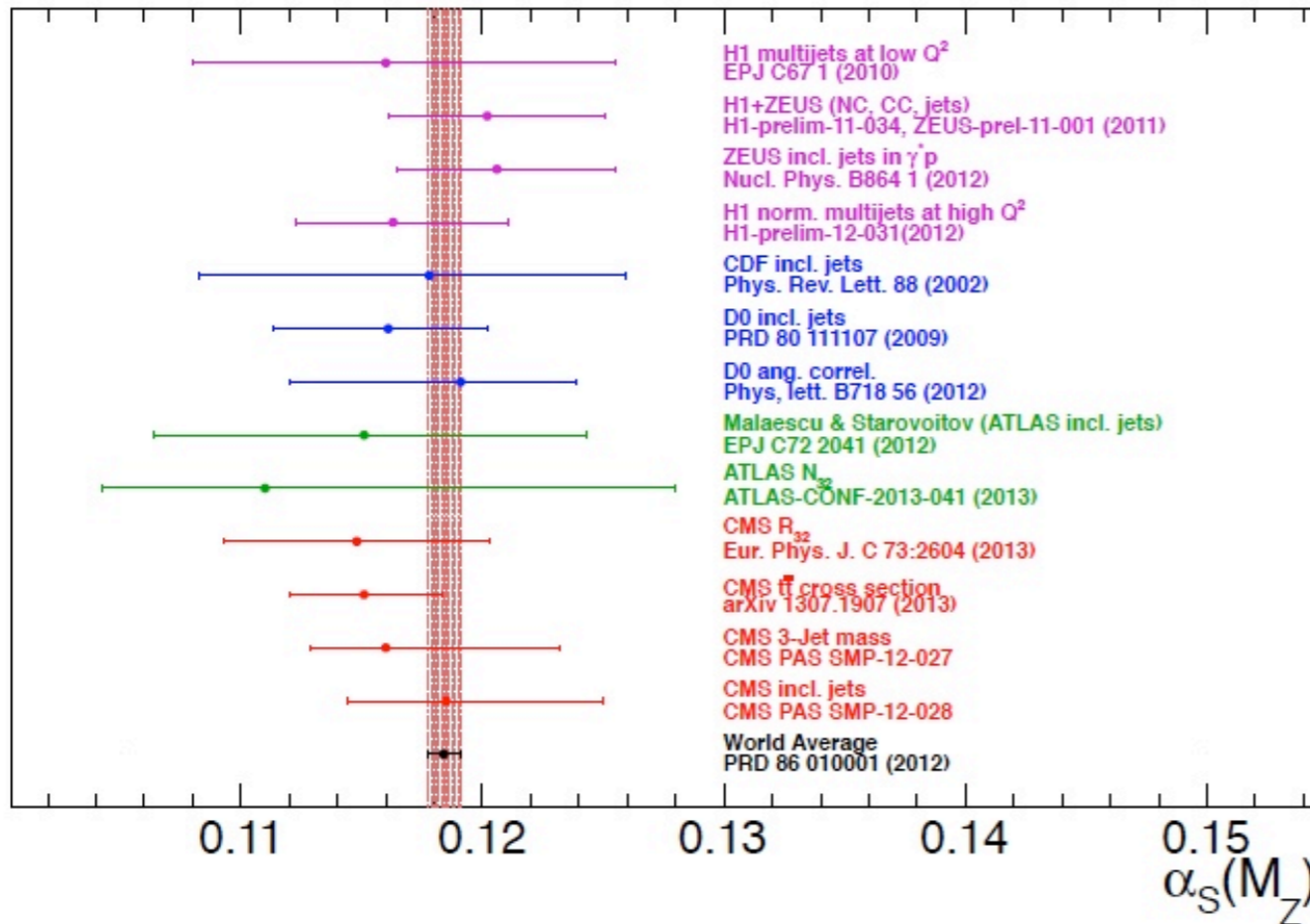
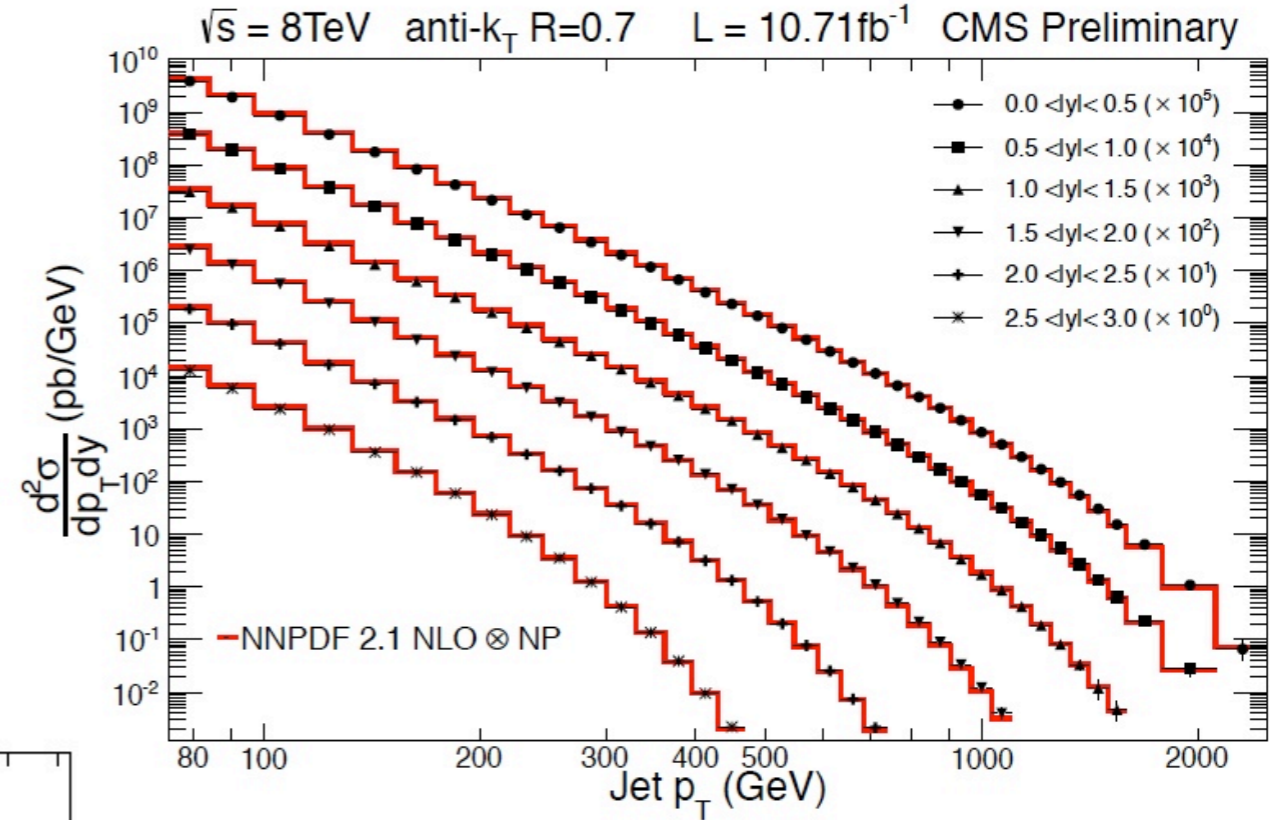
BHÇ'de pekçok SM etkileşimin tesir kesiti ölçümü yapıldı. Bu ölçümler şimdiye kadar hep SM kuramsal beklentileri ile tutarlı.



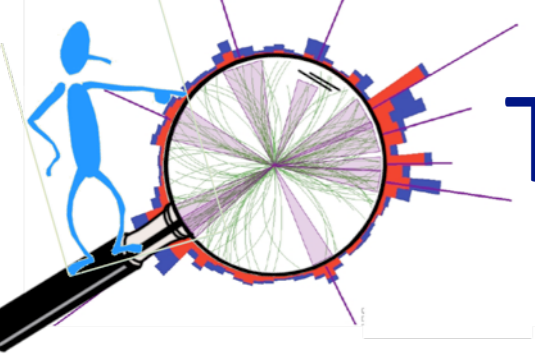


QCD ölçümleri

QCD etkileşimlerini çalışmak için p_T ve η uzayında diferansiyel tesir kesiti ölçümleri yapıldı ve kuramsal öngörü ile karşılaştırıldı. Bulunan uyumsuzluklar genelde Monte Carlo üreteç ayarlama için kullanılır.

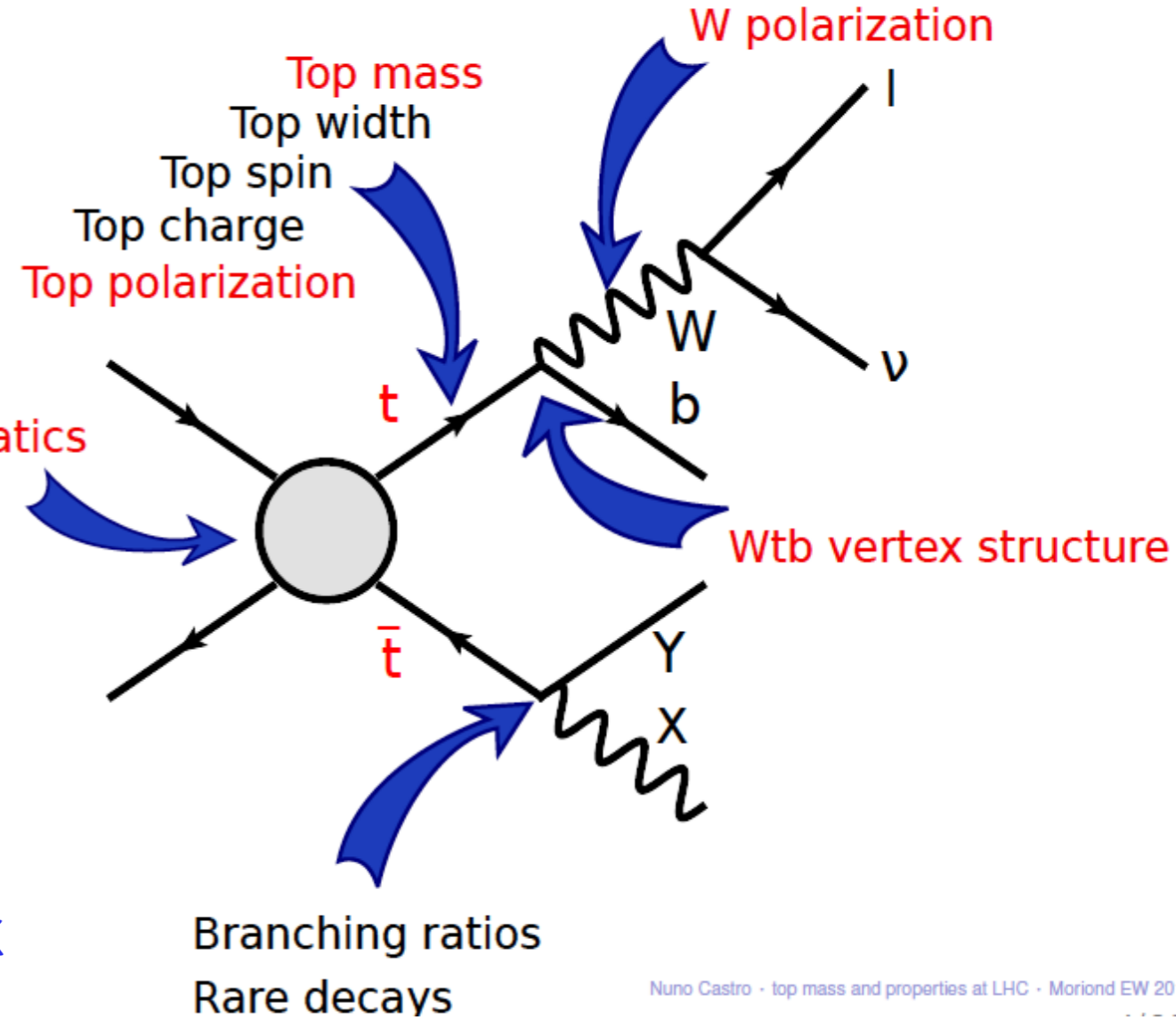


Ayrıca farklı deneylerden çeşitli tesir kesiti ölçümleri kullanılarak güçlü etkileşimin birim miktarını belirleyen güçlü bağlaşım α_s değeri elde edildi.



Top kuark ölçümleri

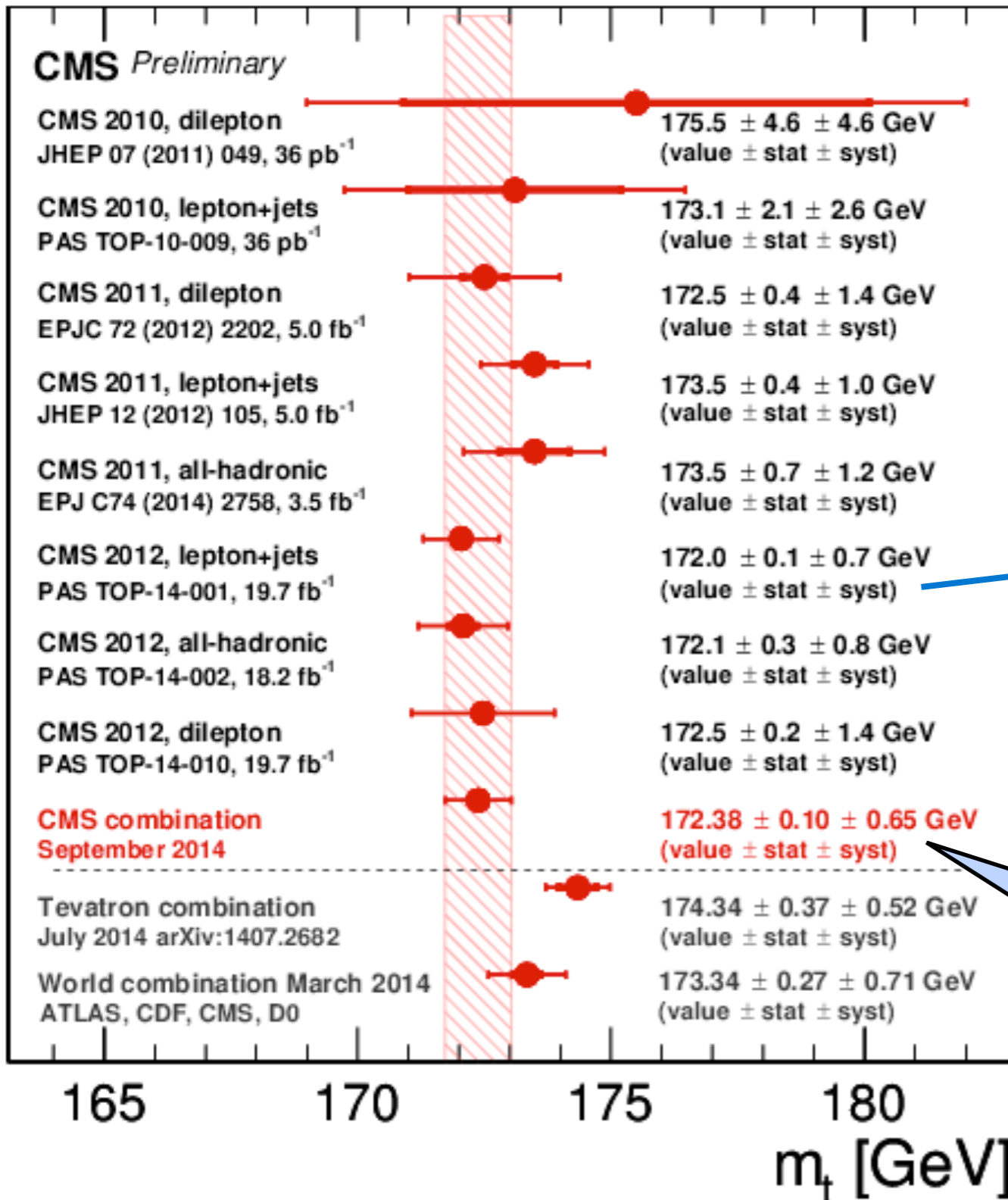
- BHÇ enerjisi ve topladığı veri miktarı ayrıntılı top kuark ölçümlerine izin verir.
- BHÇ'de **top-karşıtop ($t\bar{t}$)** ve **tek top oluşum süreçleri** görülür.



- Top kuark ölçümleri SMnin doğruluğu için önemli bir sınavdır.
- Top kuark yeni fizik modellerinde belirgin bir role sahiptir. **Top kuark ölçümleri SM'den sapmalara çok duyarlıdır.** Yeni fiziğe ait işaret top ölçümlerinden gelebilir.

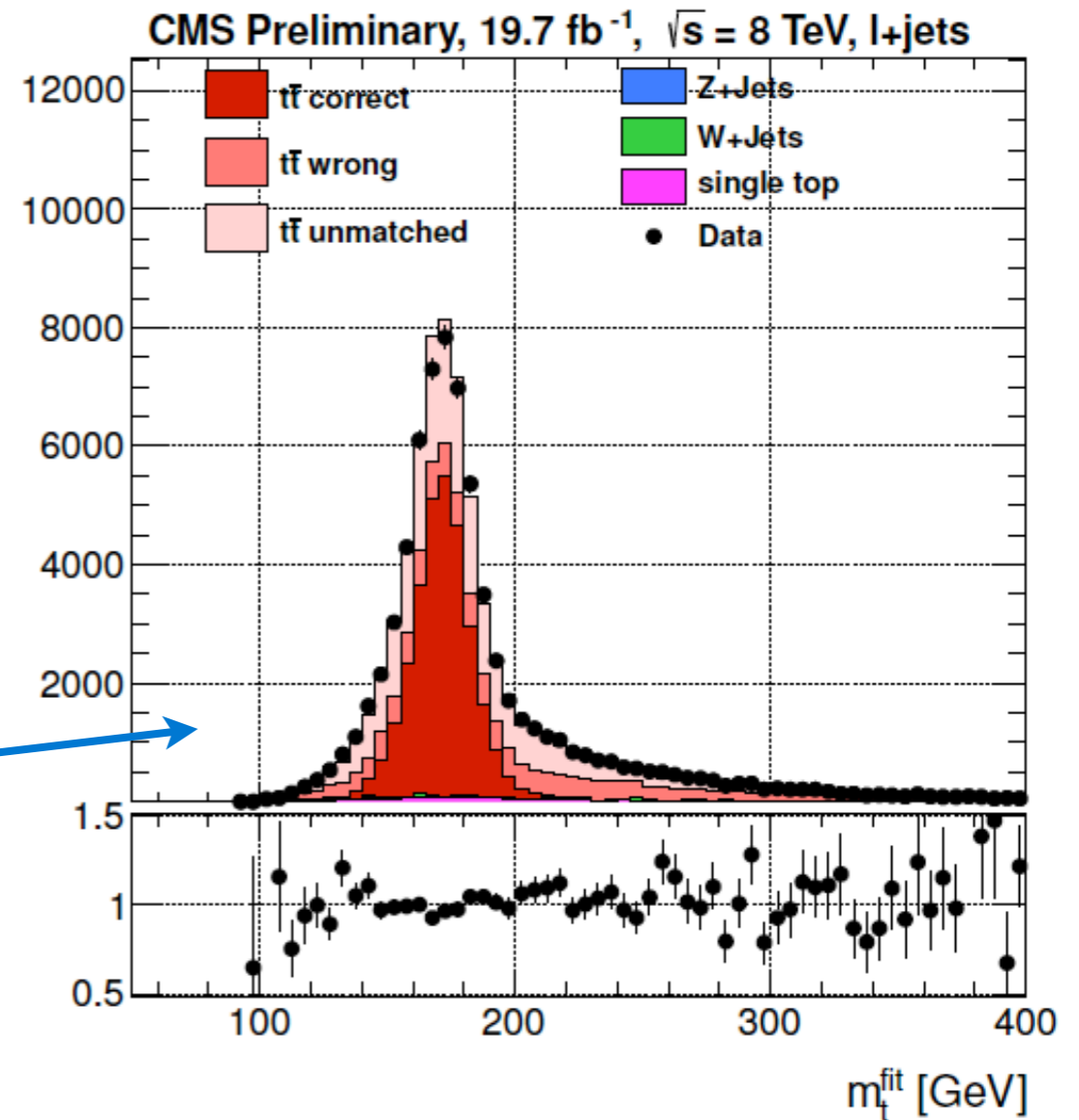
Top kuark kütlesi

19.7 fb⁻¹ (8 TeV) + 5.1 fb⁻¹ (7 TeV)

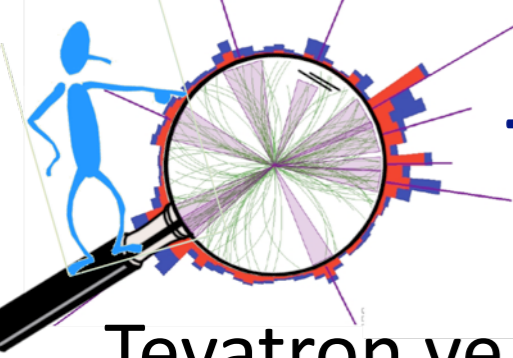


Permutations / 5 GeV

Data/MC

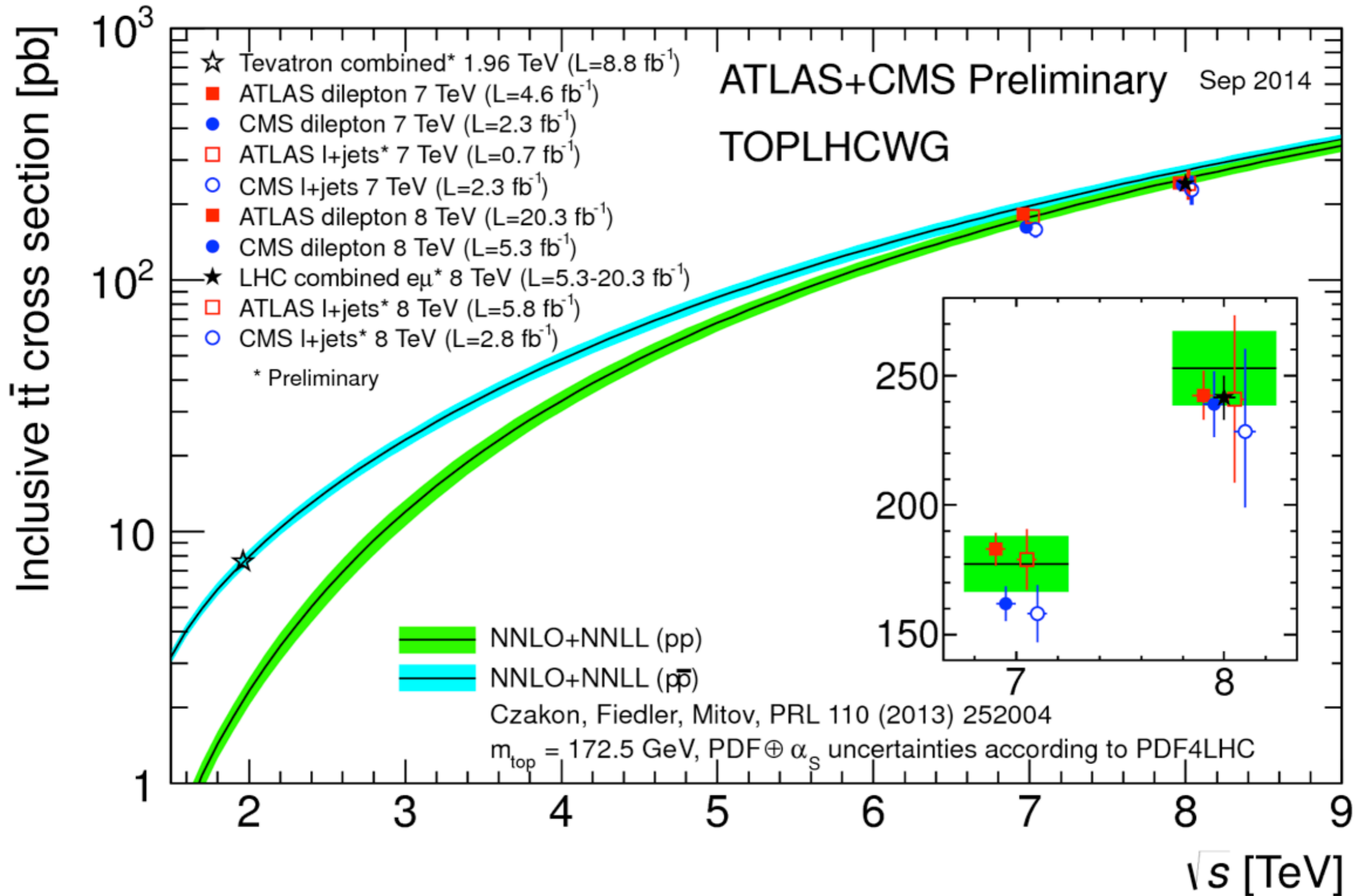


Top kuark kütlesinin ölçümü kesinleştikçe SM doğrulanıyor ve SM ötesi kuramlar kısıtlanıyor.



top-karşıtop tesir kesiti

Tevatron ve LHC birlikte çalışarak SM $t\bar{t}$ tesir kesiti hesabını doğruluyor.

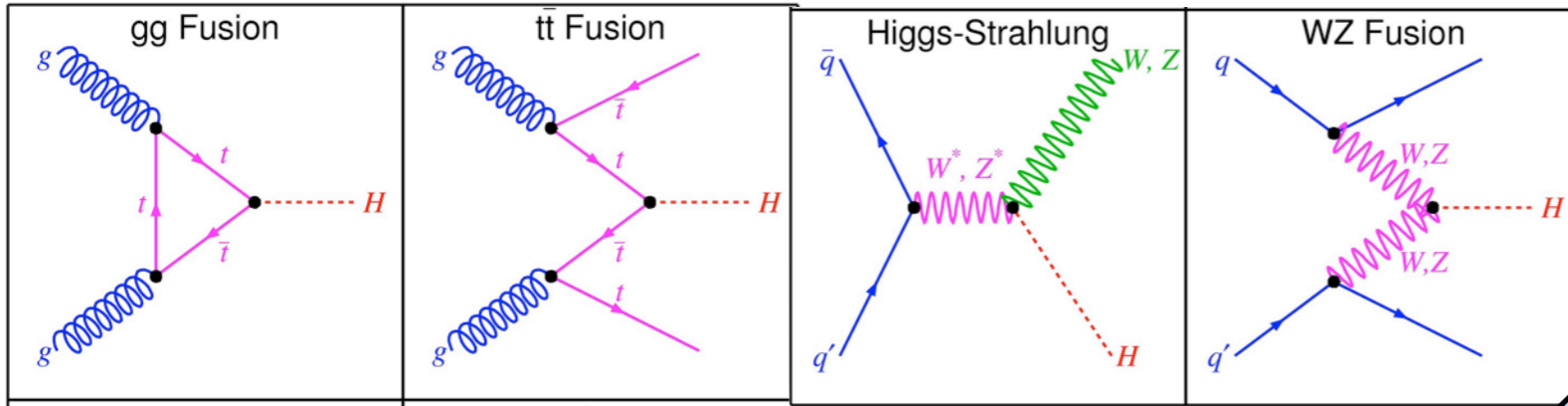




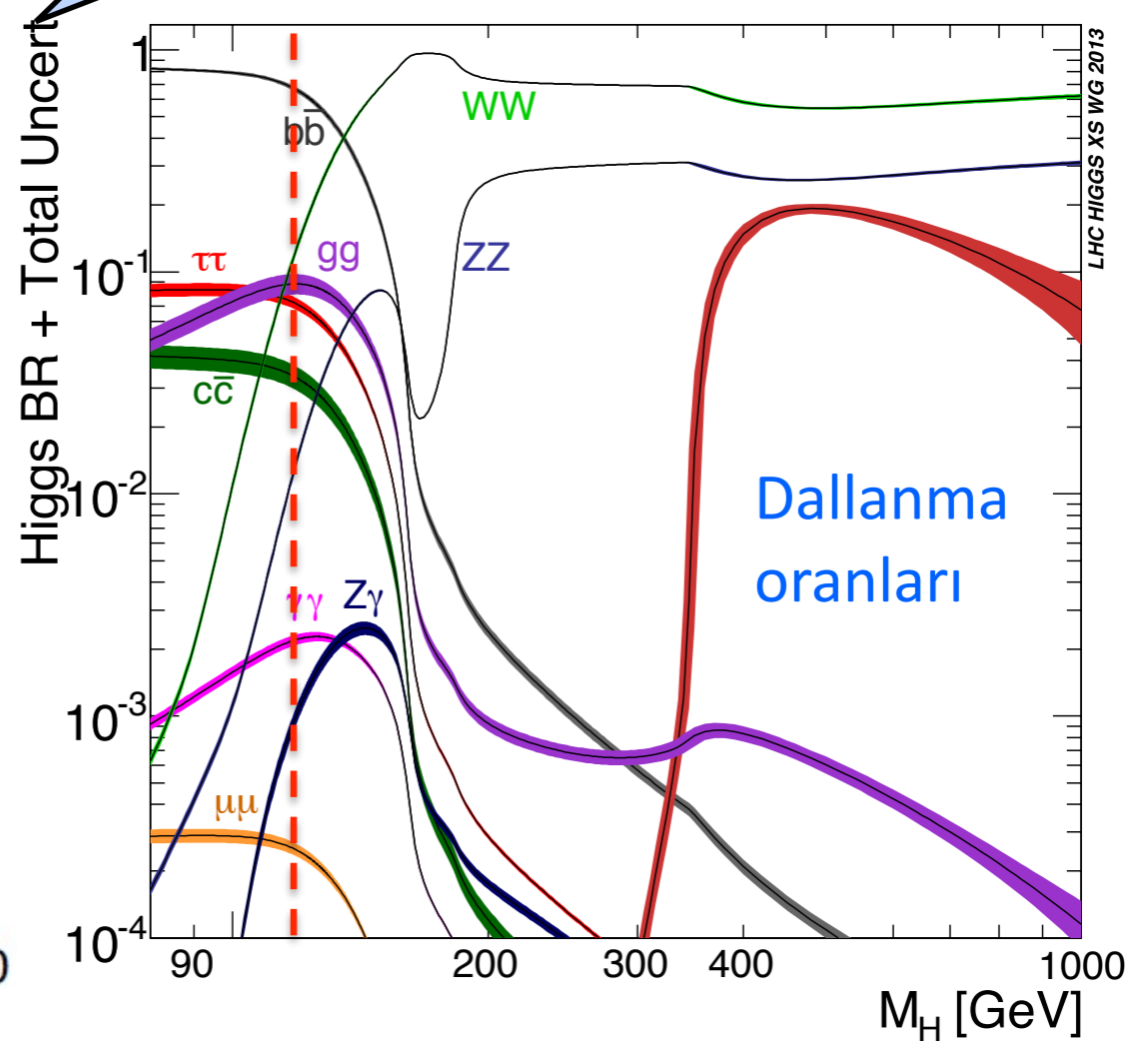
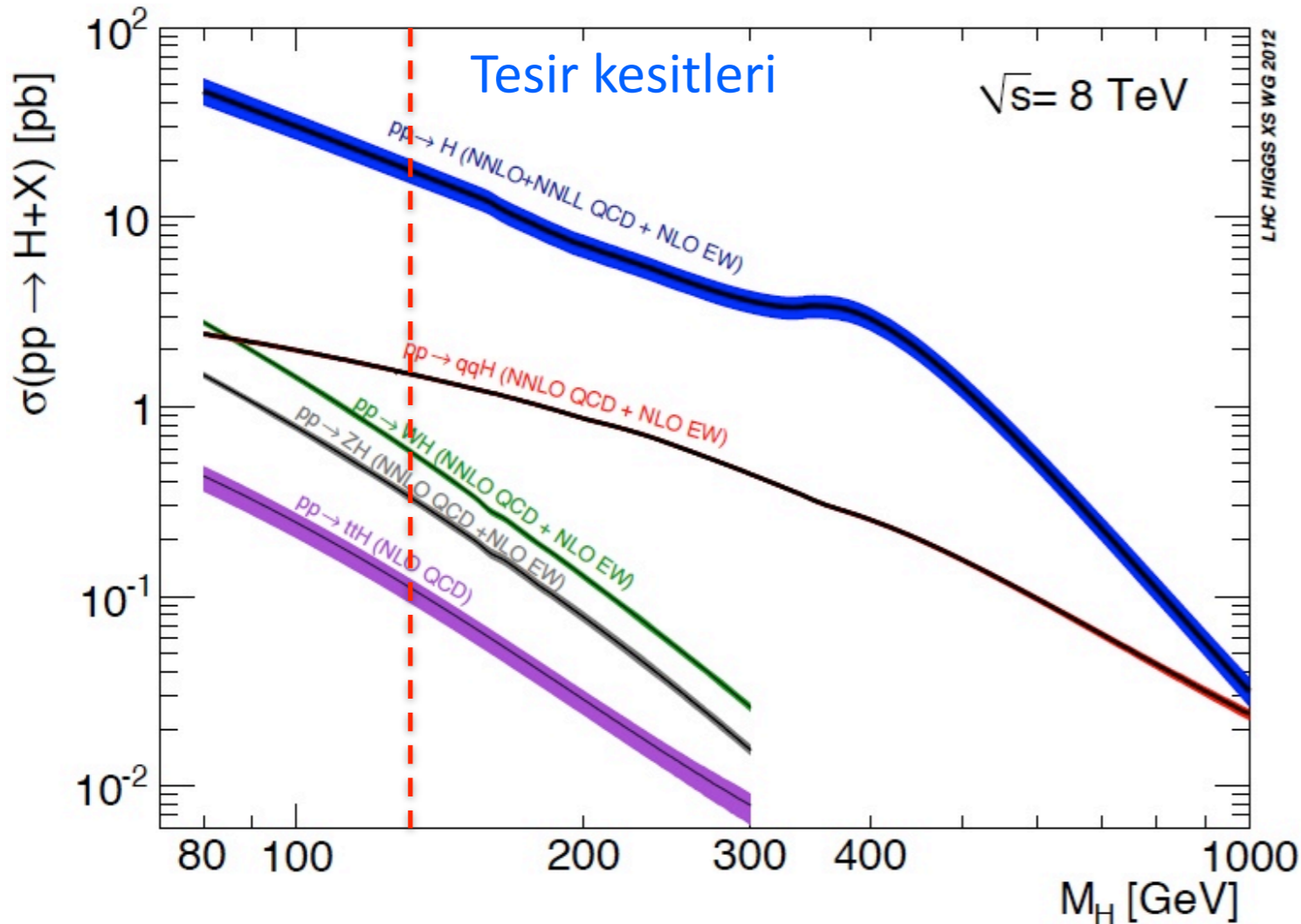
Higgs ölçümleri

Higgs bosonun (h) kütlesi bilindiğinde SM Higgs'ın tüm diğer özellikleri hesaplanabilir.

Higgs üretim yolları



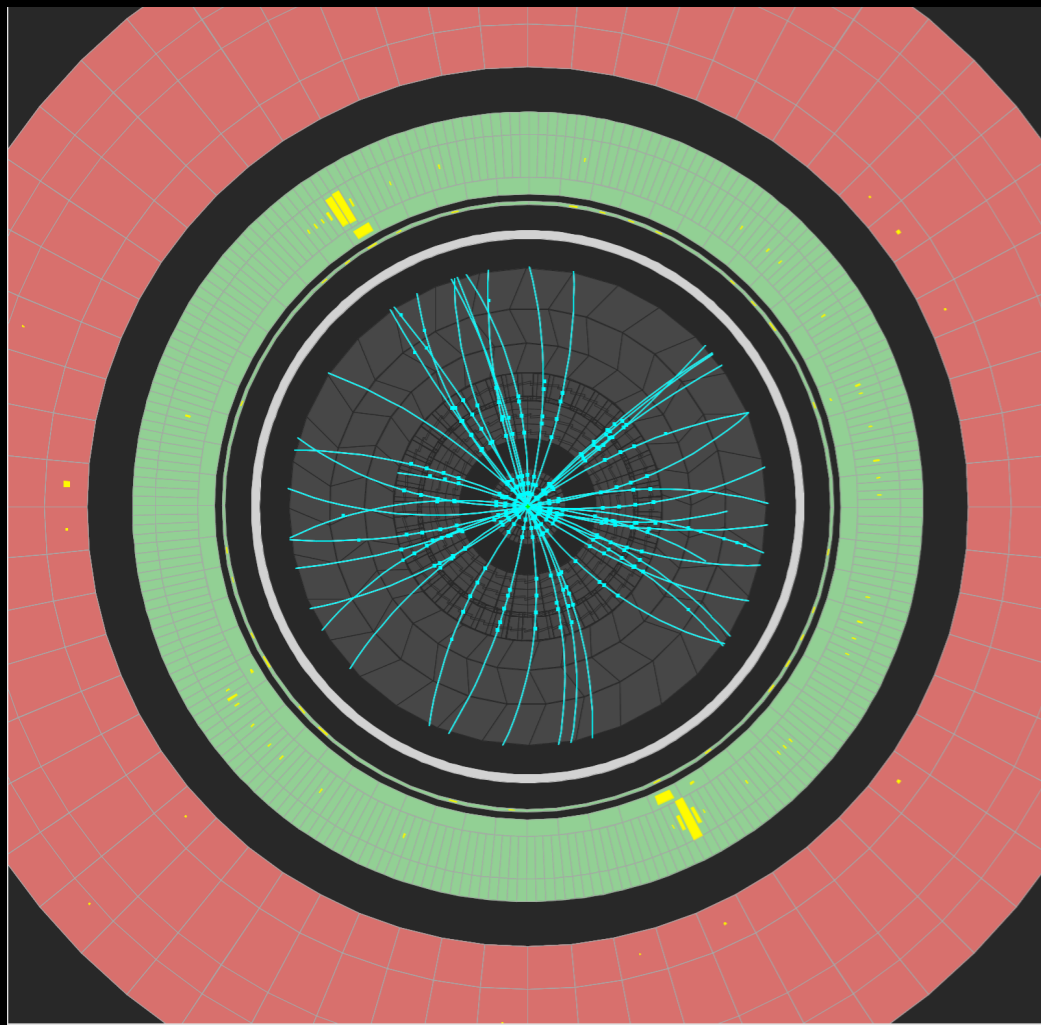
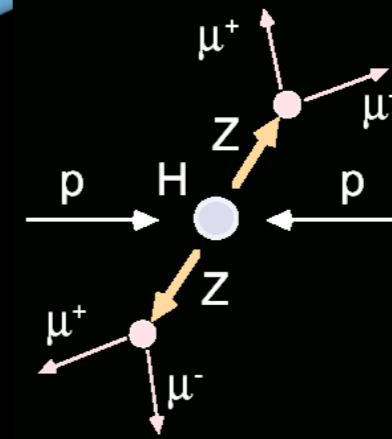
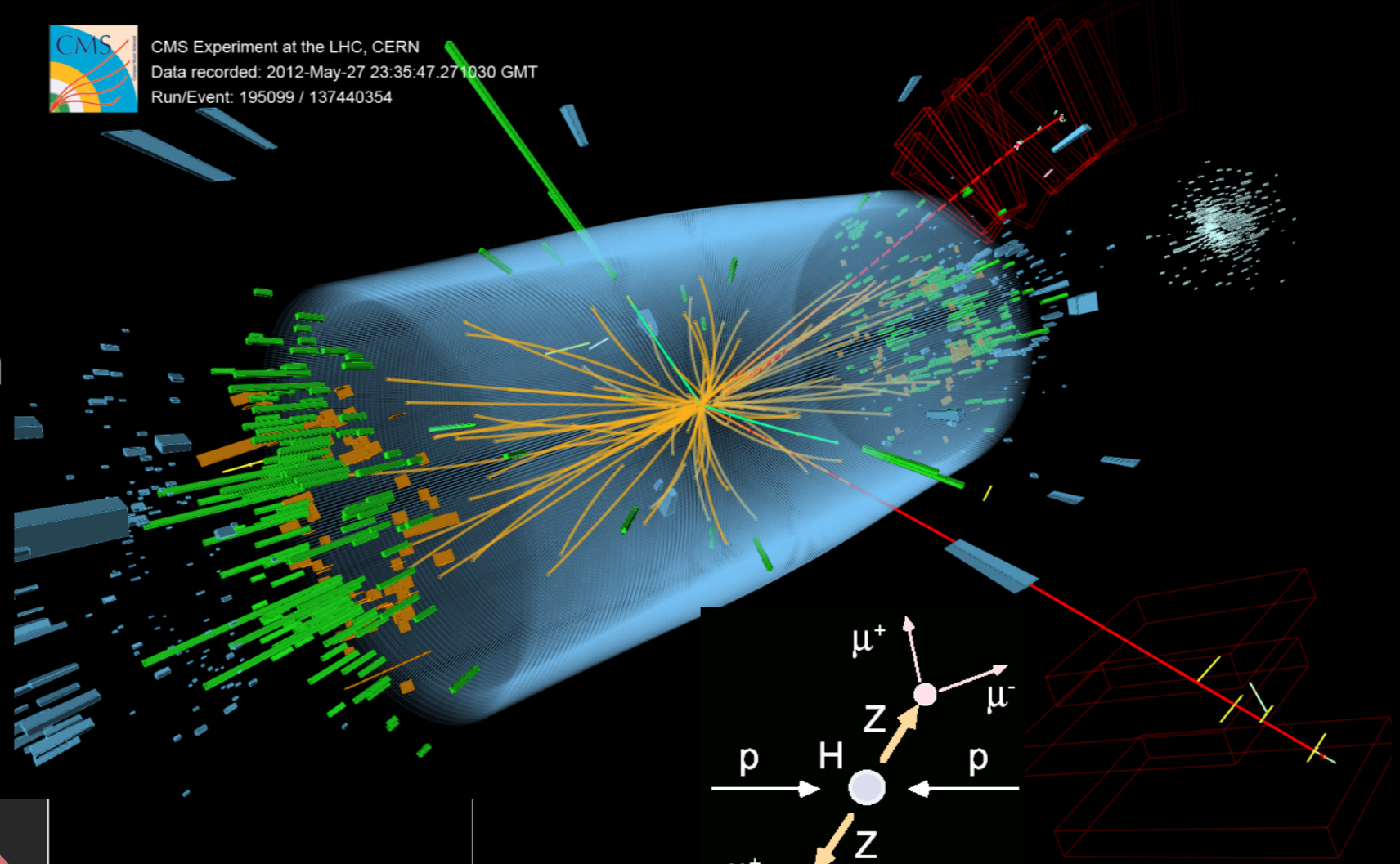
ATLAS ve CMS beklenen Higgs özelliklerini yakalayacak şekilde tasarlandı. Çözümlenmeler öngörülen sinyallere göre oluşturuldu.





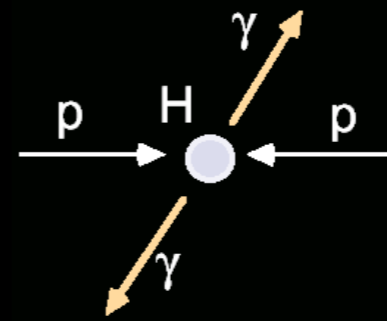
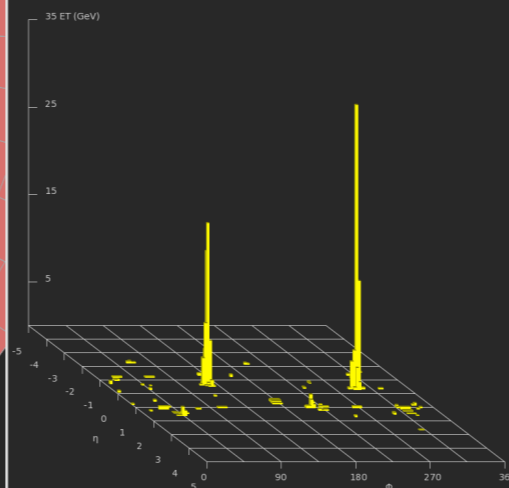
CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2012-May-27 23:35:47.271030 GMT
Run/Event: 195099 / 137440354

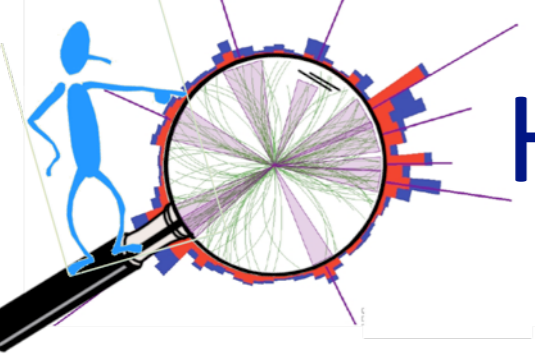
Higgs'ten gelme olasılığı
yüksek olayların leptonlu
ve fotonlu son durumlarda
BHÇ algıçlarında
görünümü.



 **ATLAS**
EXPERIMENT

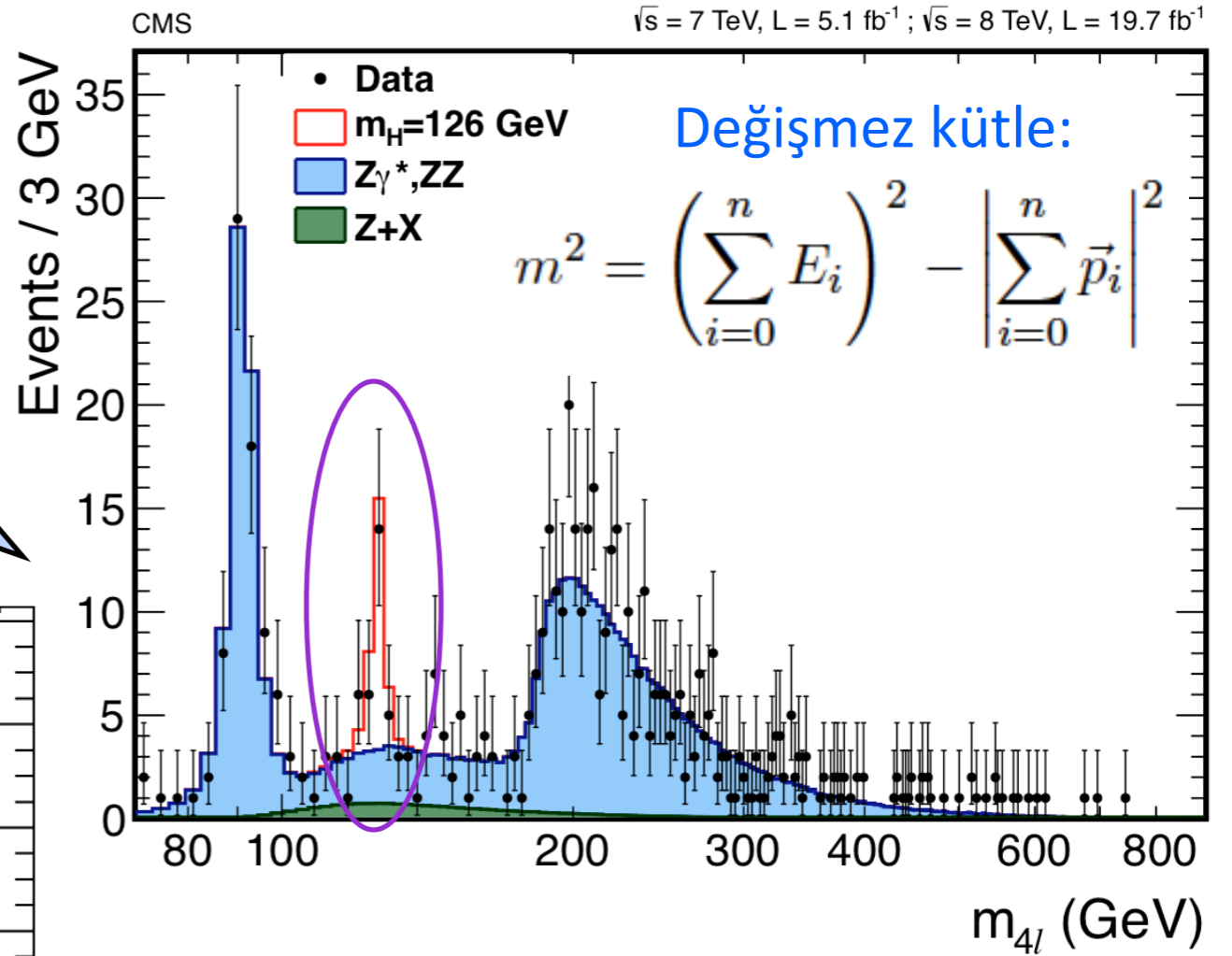
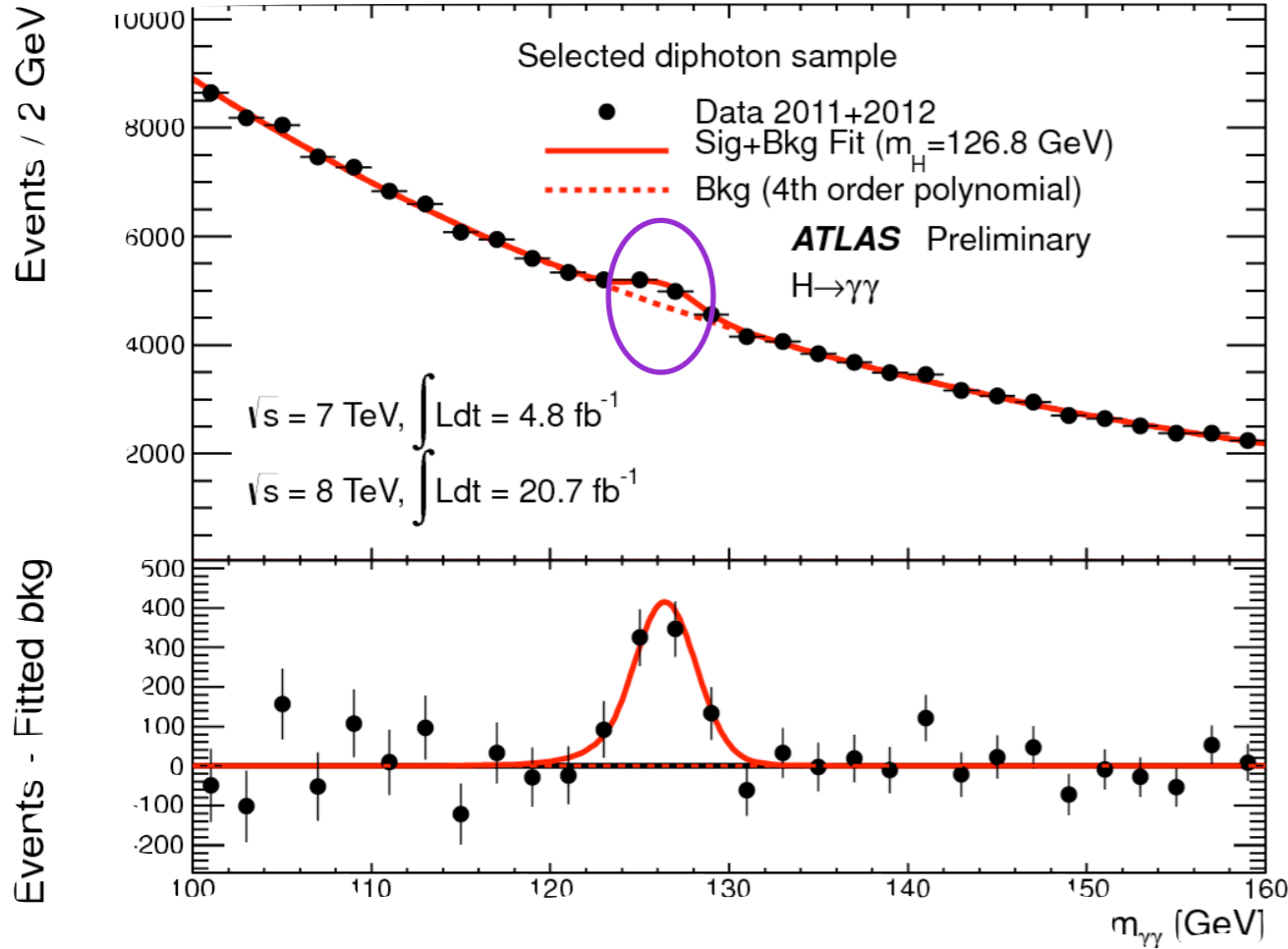
Run Number: 191426, Event Number: 86694500
Date: 2011-10-22 15:30:29 UTC





Higgs kütlesi ölçümü

Değişmez kütle dağılımında 125 GeV'de BHÇ verisinde beklenen SM ardalana göre sapma var. Bu fark Higgs sinyali ile açıklanır.



Değişmez kütle tam 125 GeV değil, 125'in etrafında dağılıyor. Bunun ilk sebebi algıç çözünürlüğünün mükemmel olmaması. Ölçümdeki belirsizlik Higgs kütle dağılımına yansıyor.

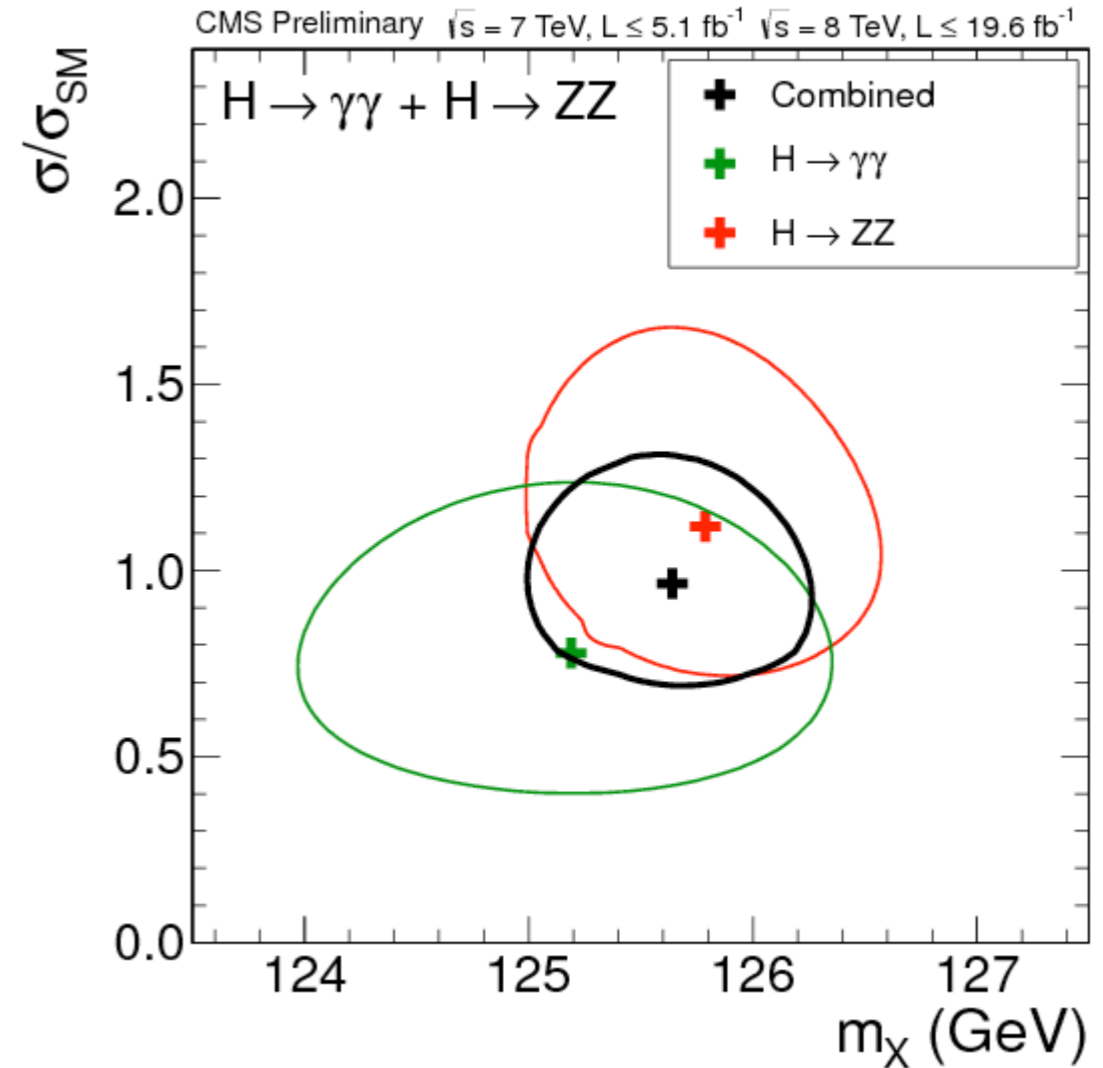
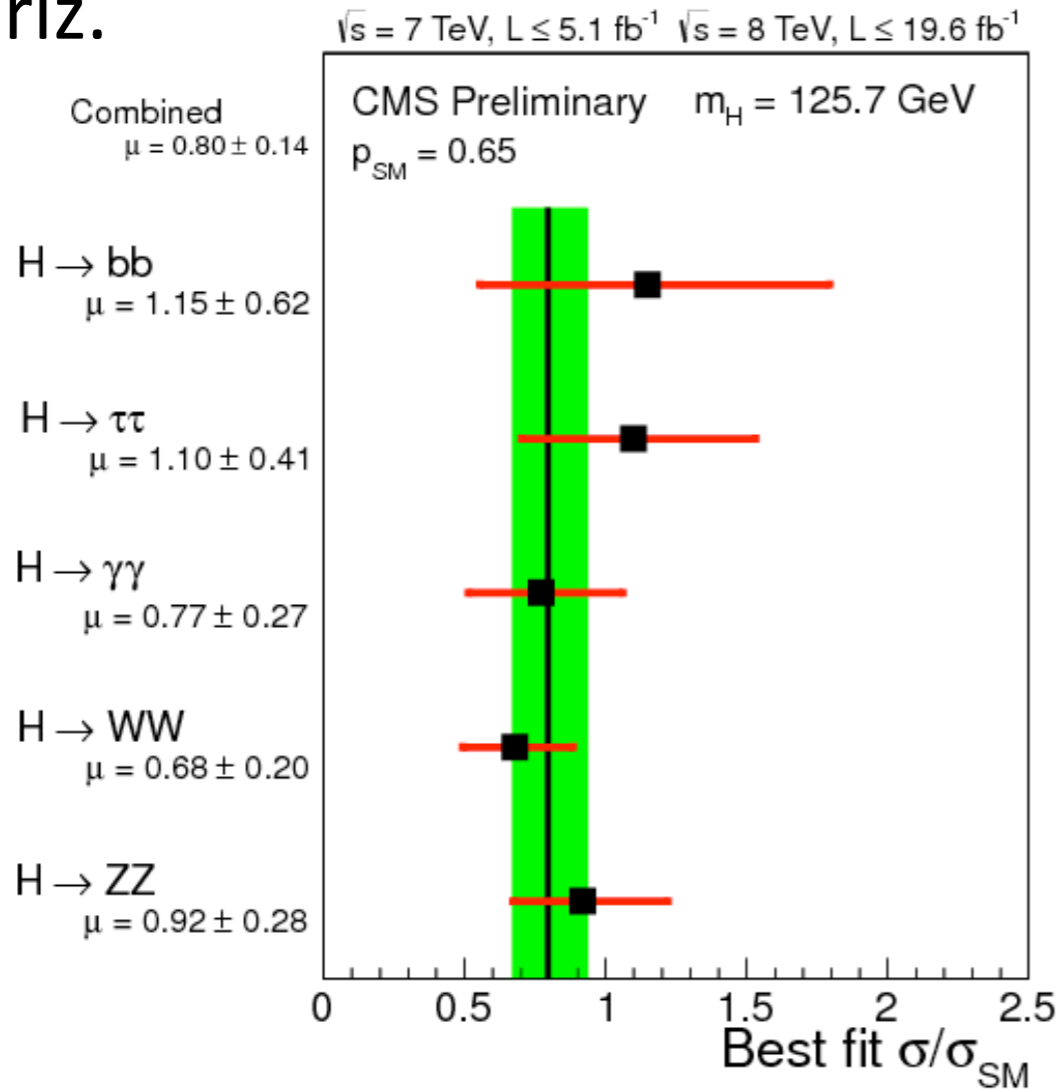


Higgs SM'e ne kadar uygun? - I

Higgs bosonun SM beklentisine uygunluğunu anlamak için:

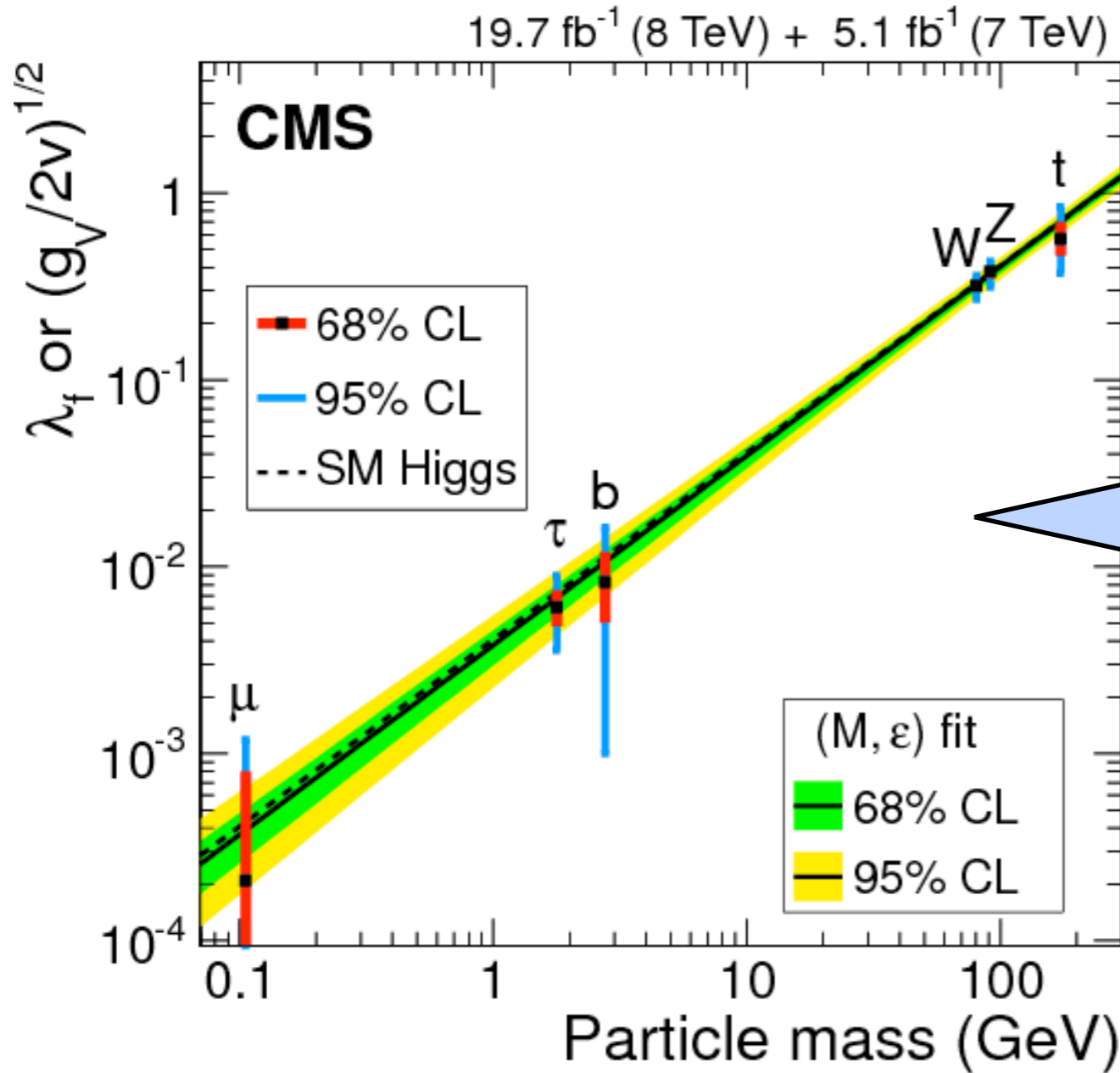
- Farklı kanallarda **sinyal gücüne** bakarız. $\rightarrow \mu = \frac{\text{Gozlenen Higgs olayi sayisi}}{\text{SMde beklenen Higgs olayi sayisi}}$
- Sinyal gücüne karşı Higgs kütesine bakarız.

Bu bilgilerle ayrıca **farklı yeni fizik kuramlarının Higgs verisine uygunluğunu** sınırlarız.



Higgs kütlesi ölçümü

BEH! Parçacıklar kütlelerini Higgs alanı ile etkileşerek kazanır. Parçacıklar Higgs alanı ile ne kadar çok etkileşirse o kadar çok kütle kazanır.



Evet, doğruluyorum. İşte SM parçacıkların etkileşim gücüne karşı SM parçacıkların kütleleri. Kırmızı ve mavi çizgiler deney ölçümü, düz çizgi veriye oturtulmuş eğri, bantlar eğrideki hata, kesikli çizgi de SM beklentisi.

Veri SM ile uyumlu.

Don Quixote and the Windmills



Aman efendim, bunlar sadece Standart Model parçacıkları!

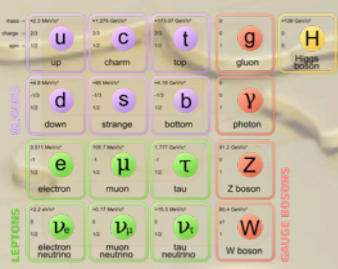
Ağır ve karanlık SUSY parçacıklar bükük ek boyutlardaki saklı kapıdan göründüler!



Aman efendim, bunlar sadece Standart Model parçacıkları!

Ağır ve karanlık SUSY parçacıklar bükük ek boyutlardaki saklı kapıdan göründüler!

Bundan sonrasında bize hem Don Quixote'un hayal gücü, hem de Sancho'nun becerikli gerçekçiliği lazım.



SM eksikleri

Deneyde herşey SM gibi görünüyor, ama ısrarla SM ötesi fizik arıyoruz.
Neden SM ötesi daha genel bir fizik kuramı varolduğunu düşünüyoruz?

- SM'de **neden 3 aile** olduğunu bilmiyoruz.
- SM ile **kütleçekim etkileşimini** açıklayamıyoruz.
- SM ile evrende **neden karşımaddeden çok madde** olduğunu açıklayamıyoruz.
- SM'nin **karanlık madde için bir adayı** yok.
- SM **karanlık enerji** hakkında bir şey söylemiyor.
- ...

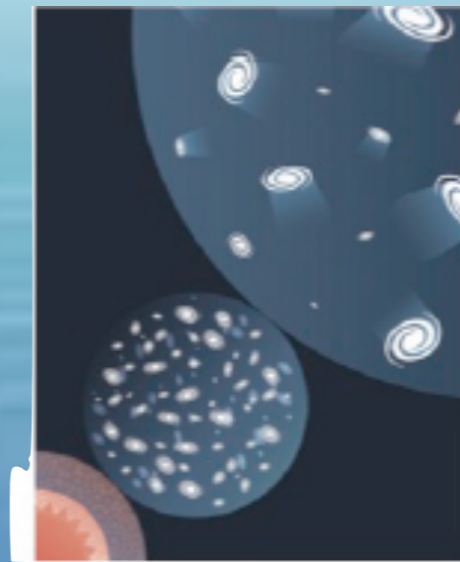
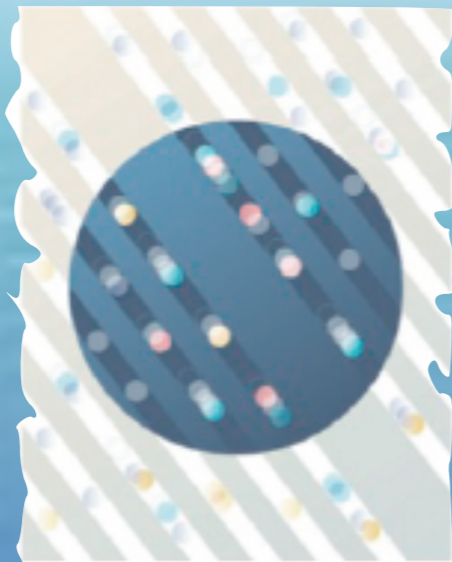
Bu eksikleri giderecek bir kurama ait izler arıyoruz.

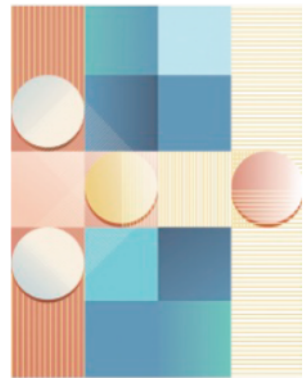


Şimdi yolculuk nereye?

Particle Physics Project Prioritization Panel (P5) 2014te parçacık fiziği araştırma önceliklerini şöyle belirledi:

- Higgs bosonunu keşif için bir araç olarak kullan.
- Nötrino kütlesi ile bağlantılı fiziği kovala.
- Karanlık madde ile ilgili yeni fiziği tanımla.
- Kozmik ivmelenmeyi, karanlık enerjiyi ve şişmeyi anla.
- Bilinmeyeni keşfet: yeni parçacıklar, etkileşimler ve fizik ilkeleri.

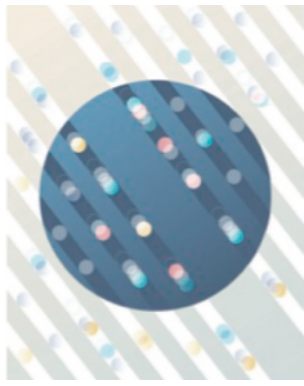




Higgs macerası devam ediyor...



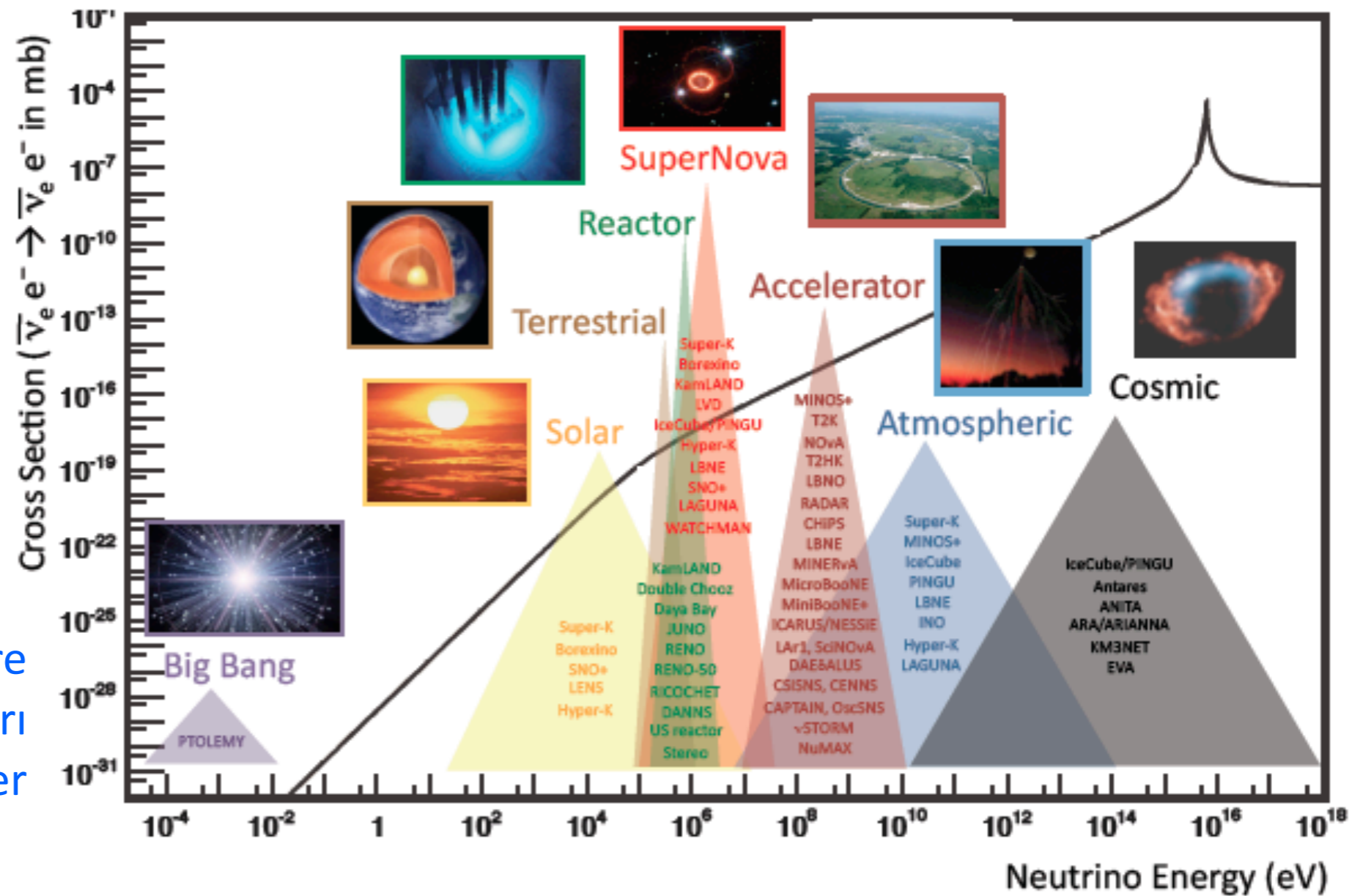
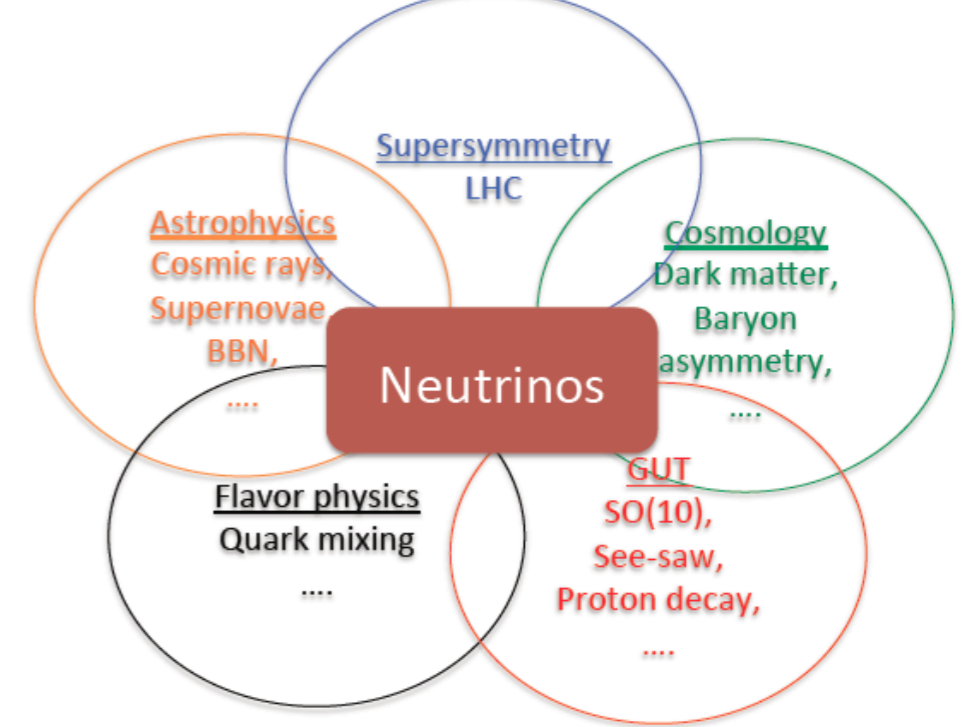
- Higgs şimdiye kadar SM ile uyumlu. Gerçekten öyle mi?
- Higgs temel parçacık mı yoksa bileşik parçacık mı?
- Gözlemlediğimiz Higgs ne kadar SM bir parçacık gibi görünse de bir SM ötesi kuramın parçası olabilir mi?
- Gerçekten de top kuarklar aracılığıyla mı oluşuyor yoksa yeni vektör kuarklar aracılığı ile mi?
- Birden fazla Higgs var mı?
- Higgs saklı bir dünya ile iletişim sağlıyor olabilir mi?
- Madde-karşımadde asimetrisinin özünde Higgs olabilir mi?
- Higgs kozmik şişmeyi başlatmış olabilir mi?
- Higgs kalıcı mı geçici mi?



Nötrinolar

- Nötrino kütleleri nedir ve nereden gelir?
- Bildiğimizden başka nötrinolar var mı?
- Nötrinolar kendi kendilerinin mi karşıparçacıdır?
- Nötrinolar ve karşınötrinolar farklı şekilde mi salınır?
- ...

Nötrino enerjisine göre nötrino gözlem kaynakları ve gözlem yapan deneyler



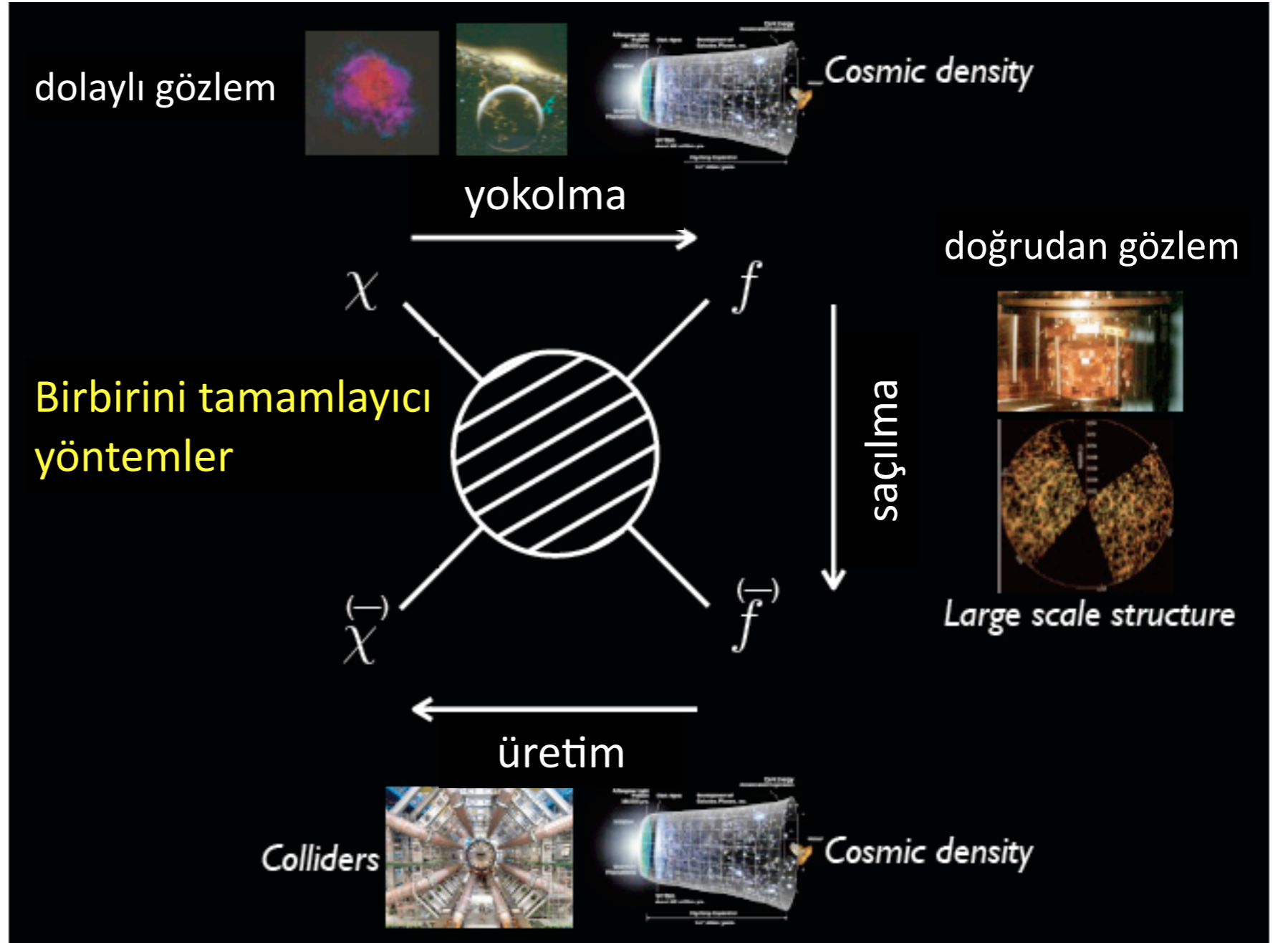


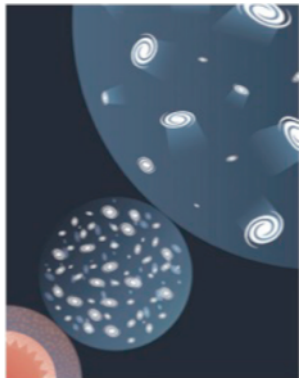
Karanlık madde

Evrenin %69unu oluşturuyor, ama doğası nedir?

Hangi kuram ile açıklanır?

Karanlık madde gözlem yolları

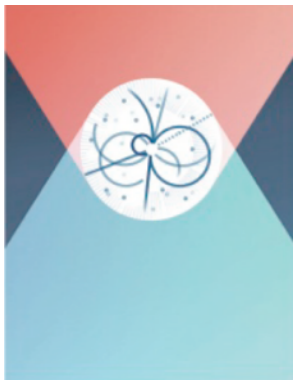




Karanlık enerji

Evren ivmelenerek genişliyor.

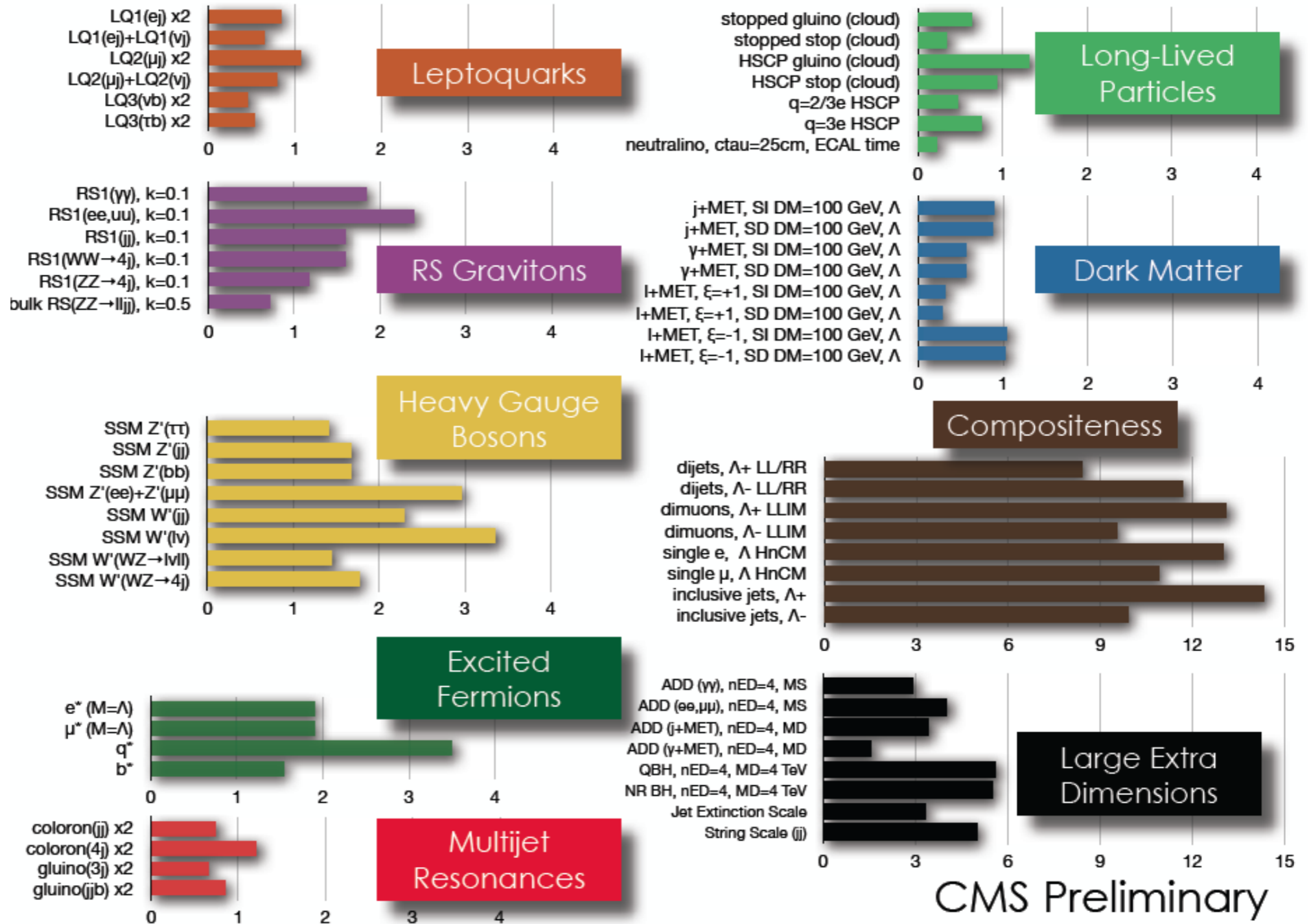
- Bunun sebebi gerçekten de karanlık enerji mi?
- Karanlık enerji zaman ile nasıl değişir?
- Karanlık enerji Einstein'ın kozmolojik sabitine mi bağlıdır?
- Kütleçekim değişikliği (modifikasyonu) gerektirir mi?
- ...



Yeni parçacıklar, etkileşimler...

Çok aday var ama daha hiç kanıt yok. PFciler için ayrıntılar SM ötesi dersinde...

Ezgotik kuramlar, parçacıklar ve CMS ile hangi ölçeğe kadar dışlandıkları.



CMS Preliminary



**Dükkanı yakında tekrar açıyoruz.
LHC 2015 Haziran ayında 13 TeV enerji ile
tekrar veri almaya başlıyor.**





**Dükkanı yakında tekrar açıyoruz.
LHC 2015 Haziran ayında 13 TeV enerji ile
tekrar veri almaya başlıyor.**



Ödev 1:

QUARKS

mass →	$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$
charge →	$2/3$	$2/3$	$2/3$
spin →	$1/2$	$1/2$	$1/2$
	u	c	t
	up	charm	top
	$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$
	$-1/3$	$1/3$	$-1/3$
	$1/2$	$1/2$	$1/2$
	d	s	b
	down	strange	bottom

İşaretli kuarklar diğerlerine göre daha ağır. 1. ailede durum 2. ve 3.ye göre farklı - yani simetri kırılmış.

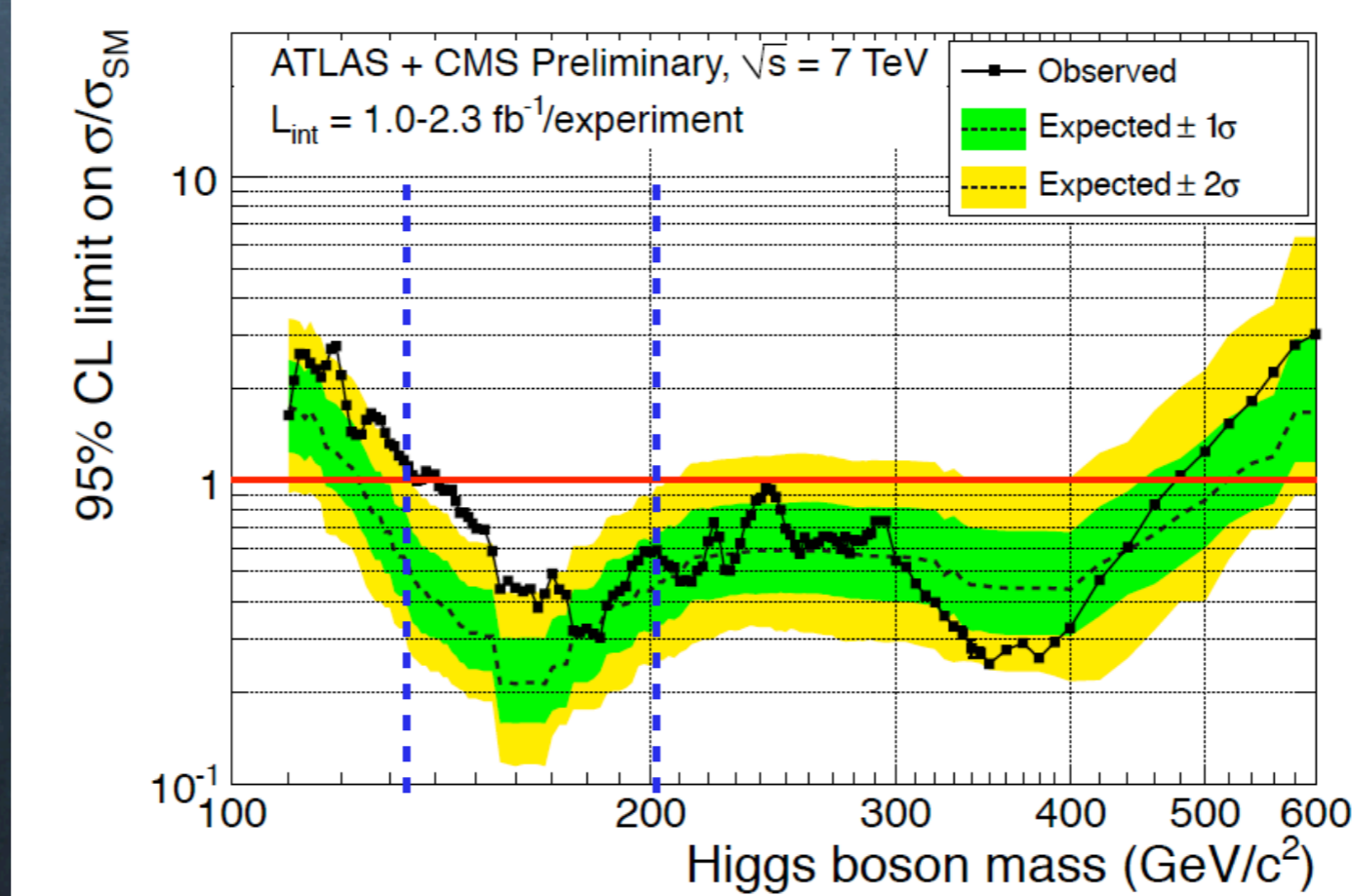
Eğer simetri korunmuş olsaydı, yani up kuark down kuarktan daha ağır olsaydı bu nelere yol açardı?

Ödev 2: (isteğe bağlı)

Varsayalım bu evreni istediğiniz gibi şekillendirme gücünüz var. Hidrojen atomunda e yerine μ kullanmak ve bu atomun ömrünü 1ms yapmak istiyorsunuz. Klasik Bohr atomu varsayarak, 3 temel sabitten hangisini ne kadar değiştirmemiz gerekir?

Ödev 3: Deneysel

2010 yılının sonunda Higgs arayışındaki durum aşağıdaki gibiydi. SM Higgs'in kesikli mavi çizgilerin dışındaki kütlelerde varolamayacağı gözlenmişti. Nasıl oldu da Higgs'in bu kütlelerde varolamayacağını 125 GeV Higgs keşfinde gerekmiş veriden çok daha az veri kullanarak daha erken söyleyebildik?



Ödev 4: Deney (isteğe bağlı)

Diyelim ki doğada bir değil iki farklı Higgs bosonu var:

1. Higgs 123 GeV, ve sadece kuarklar ile etkileşiyor.
2. Higgs 128 GeV, ve sadece leptonlar ile etkileşiyor.

Daha önce Higgs kütle ölçümünü sağlayan W, Z ve γ

parçacıkları ise 1 ve 2nin doğrusal kombinasyonu ile etkileşiyor.

Acaba bu iki Higgs'i nasıl ayırd edebiliriz? Neleri ölçmemiz gerekir? Algıcı nasıl iyileştirmeliyiz?