



Güncel sorunlar ve çözüm arayışı

Sezen Sekmen

CERN Türk Öğretmenler Çalıştayı

26 – 30 Ocak 2015

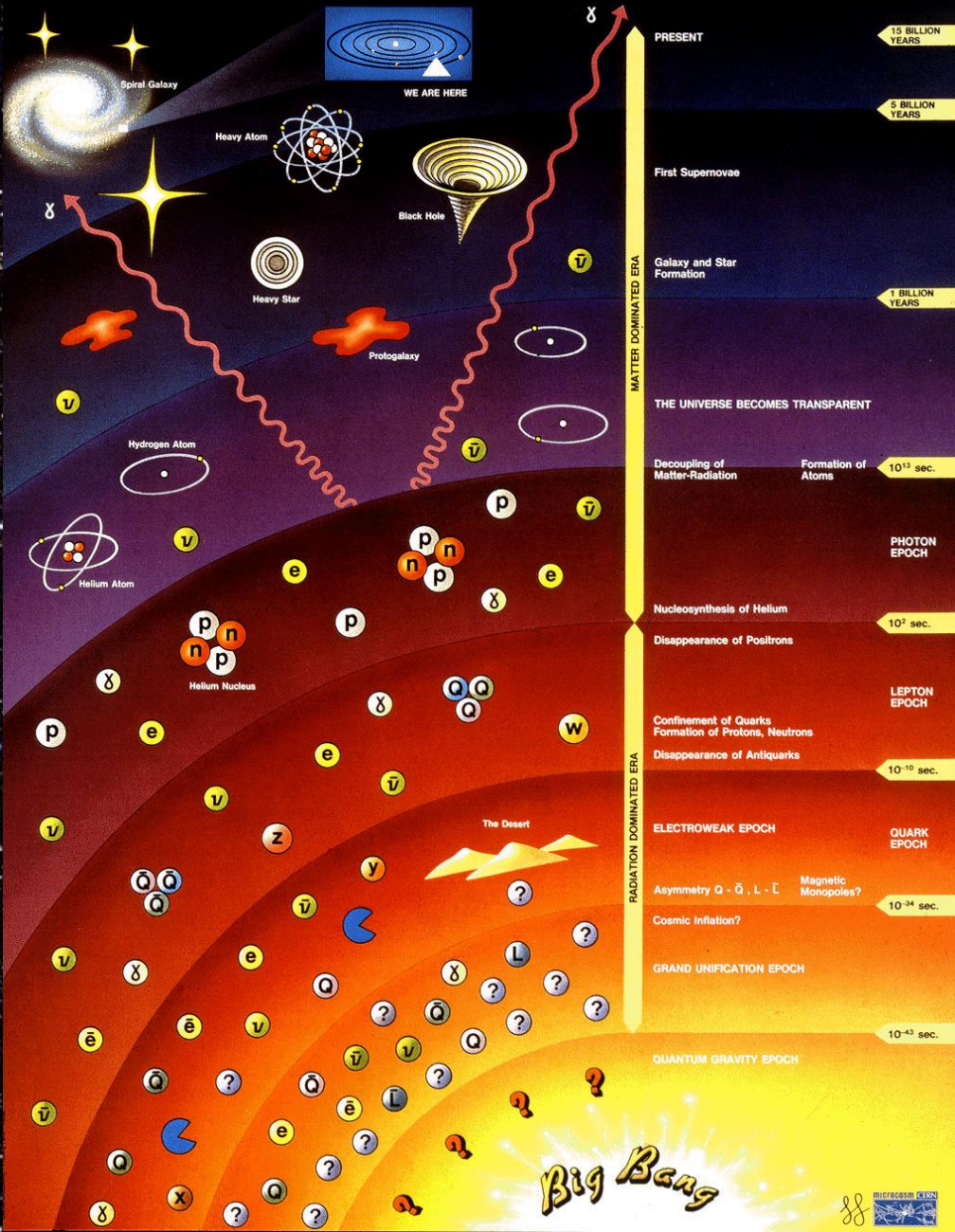
*Maddenin en küçük ögesi bulunmadan insan evreni
asla anlayamaz.*

Plato



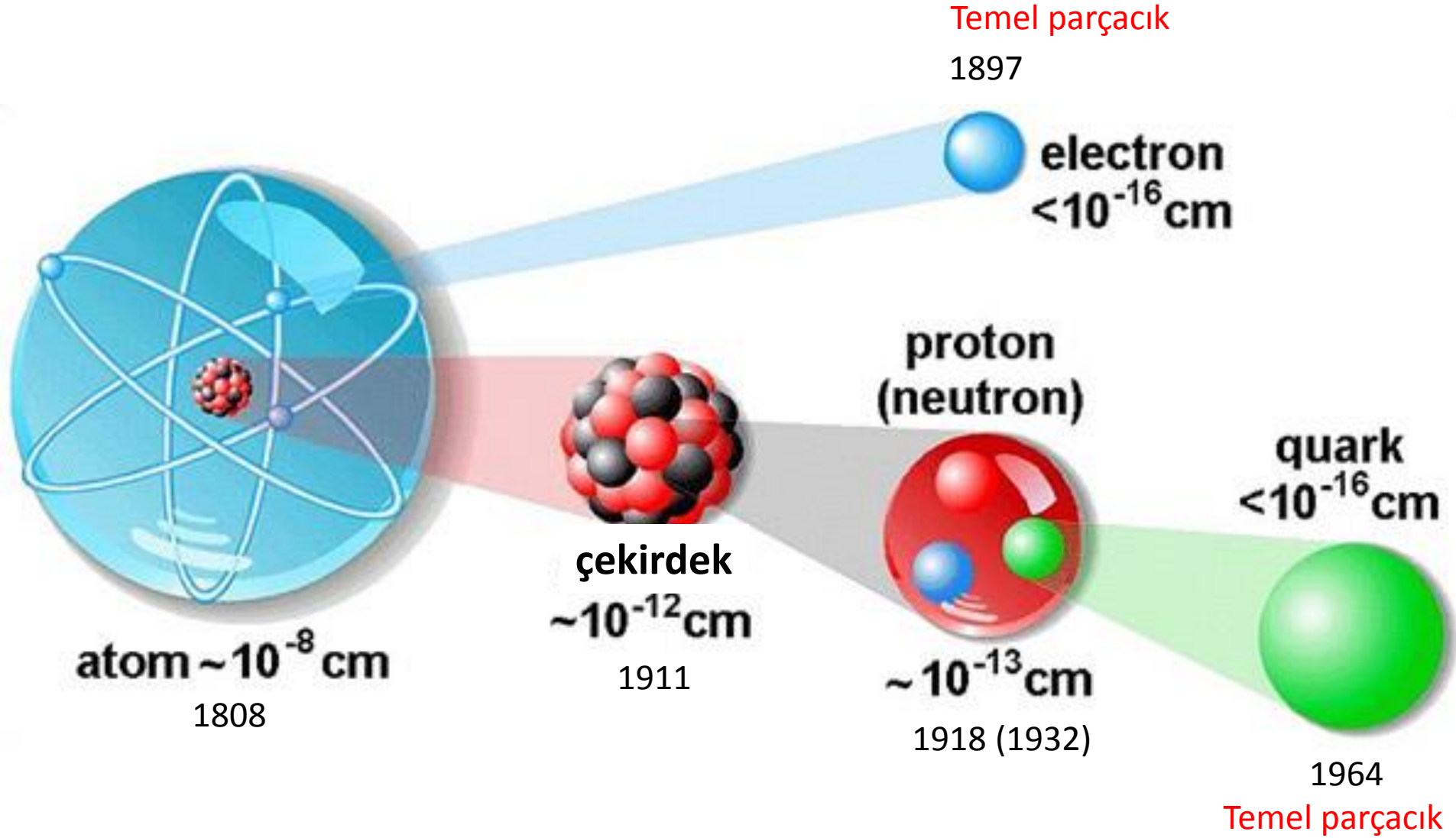
Büyük Patlama'dan sonra evrenimiz bir parçacık kadar küçüktü.

History of the Universe

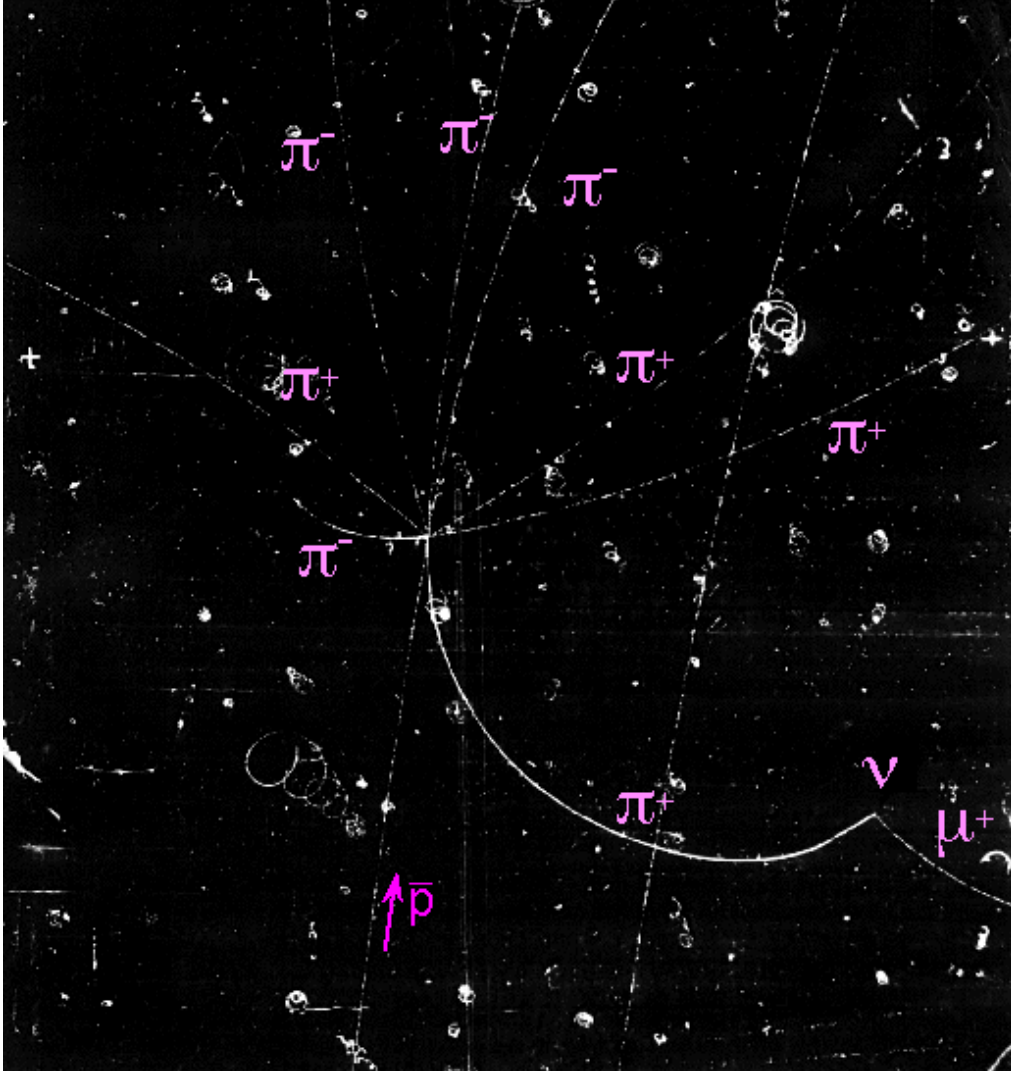


... ve evrenimizin gelişimi parçacıklar ve onların etkileşimiyle doğrudan bağlantılıdır.

Atomun içine yolculuk



Sonra tuhaf parçacıklar görünmeye başladı



- **Pozitronlar** (pozitif elektronlar)
- **Muonlar** (daha ağır elektronlar)
- **Nötrinolar** (yüksüz elektronlar)
- Çeşitli **mezonlar** (2 kuarktan oluşur) ve **baryonlar** (3 kuarktan oluşur)


Ve bu tuhaf parçacıklar bize Standart Model'i getirdi.

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

		Three Generations of Matter (Fermions)			Force carriers
		I	II	III	
mass		2.4 MeV/c ²	1.27 GeV/c ²	171.2 GeV/c ²	0
charge		2/3	2/3	2/3	0
spin		1/2	1/2	1/2	1
name		u up	c charm	t top	γ photon
	Quarks	4.8 MeV/c ²	104 MeV/c ²	4.2 GeV/c ²	0
		-1/3	-1/3	-1/3	0
		1/2	1/2	1/2	1
		d down	s strange	b bottom	g gluon
	Leptons	< 2.2 eV/c ²	< 0.17 MeV/c ²	< 15.5 MeV/c ²	91.2 GeV/c ²
		0	0	0	0
		1/2	1/2	1/2	1
		ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z⁰ Z boson
		0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	80.4 GeV/c ²
		-1	-1	-1	±1
		1/2	1/2	1/2	1
		e electron	μ muon	τ tau	W[±] W boson

- Her kuarktan **3 renk**.
- Her parçacık için bir **karşıparçacık**
- Etkileşimler **kuvvet taşıyıcı parçacıklar**la yönlendirilirler
- Toplamda **60 parçacık** (LHC öncesinde)

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



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

Ya da SMin eksiklerinden
çıkıp yeni kuramlar
bularak onların izlerini
araştıracacağız.

Standart Model doğrudur – doğruluğu deneylerce kanıtlandı.
Ancak SM eksiktir. Açıklayamadığı şeyler vardır.



Bakış açımızı genişletmemiz gerekiyor.
Bu konuda Standart Model'in eksikleri bize yardımcı olacak!

SM eksikleri: Kütle sorunu

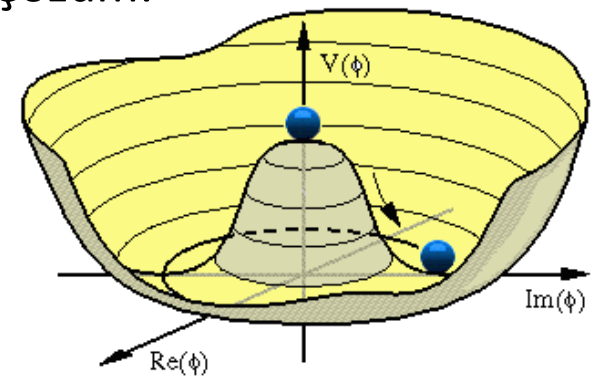
Three generations of matter (fermions)

	I	II	III		
mass →	2.4 MeV/c ²	1.27 GeV/c ²	171.2 GeV/c ²	0	? GeV/c ²
charge →	2/3	2/3	2/3	0	0
spin →	1/2	1/2	1/2	1	0
name →	u up	c charm	t top	γ photon	H Higgs boson
	4.8 MeV/c ²	104 MeV/c ²	4.2 GeV/c ²	0	
	-1/3	-1/3	-1/3	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
Quarks	d down	s strange	b bottom	g gluon	
	<2.2 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	91.2 GeV/c ²	
	0	0	0	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z⁰ Z boson	
	0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	80.4 GeV/c ²	
	-1	-1	-1	±1	
	1/2	1/2	1/2	1	
Leptons	e electron	μ muon	τ tau	W[±] W boson	

Gauge bosons

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

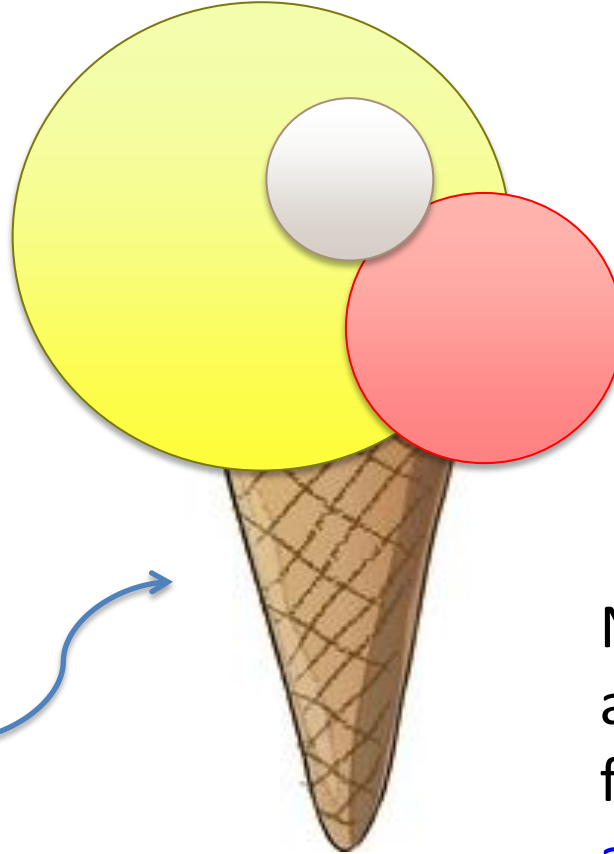
Çözüm:



SM eksikleri: Çeşni sorunu

Three Generations of Matter (Fermions)

	I	II	III
mass	$2.4 \text{ MeV}/c^2$	$1.27 \text{ GeV}/c^2$	$171.2 \text{ GeV}/c^2$
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
name	u up	c charm	t top
Quarks	$4.8 \text{ MeV}/c^2$	$104 \text{ MeV}/c^2$	$4.2 \text{ GeV}/c^2$
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	d down	s strange	b bottom
Leptons	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$
	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino
	$0.511 \text{ MeV}/c^2$	$105.7 \text{ MeV}/c^2$	$1.777 \text{ GeV}/c^2$
	-1	-1	-1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	e electron	μ muon	τ tau



Neden herşeyi aynı, ancak sadece kütleleri farklı olan **3 parçacık ailesi** vardır?

SM eksikleri: Kuvvetler farklılığı

Neden kütleçekim kuvveti diğerlerinden farklıdır? Tüm kuvvetleri anlatacak olan **birleşik tek kuram** nedir?



Elektromanyetik

Zayıf

Güçlü

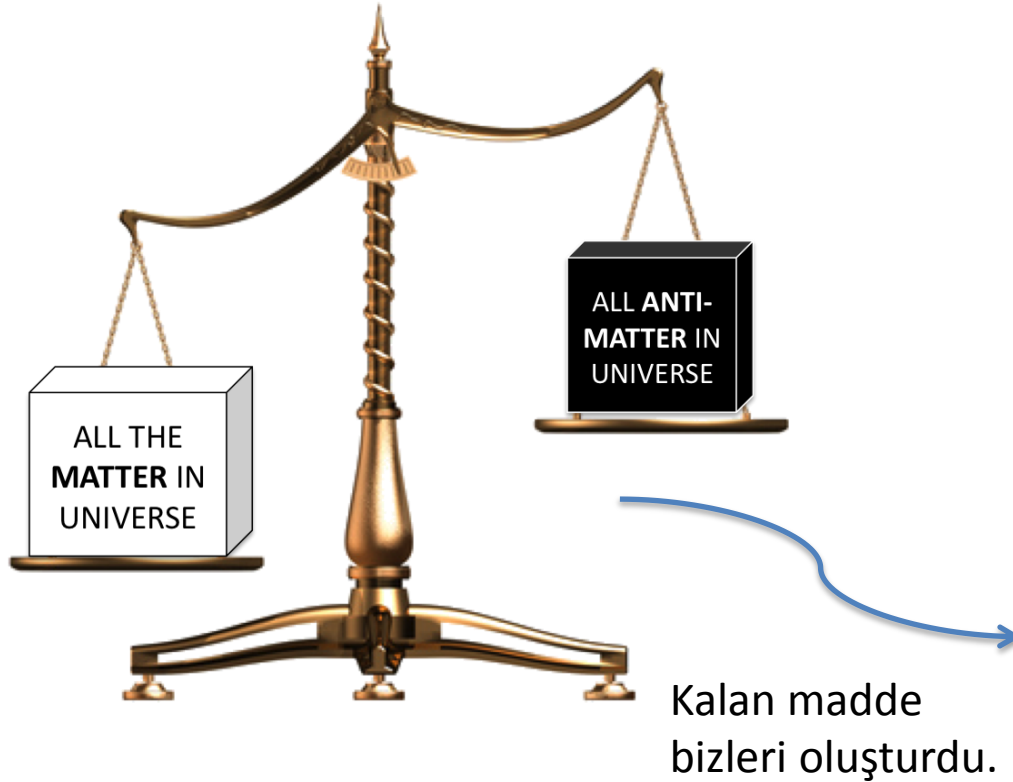


Kütleçekim

SM eksikleri: Madde-karşımadde asimetrisi

Evrenin başlangıcında madde ve karşımadde eşit miktarlarda üretilmişlerdi. Fakat daha sonra **maddenin karşımaddeye tercih edilmesini** sağlayan bir olay gerçekleşti. Sonra madde ve karşımadde birbirini yoketti. Geriye **biraz madde kaldı**.

Neden?



SM eksikleri: Karanlık madde ve karanlık enerji nedir? Neden yapılmışlardır?

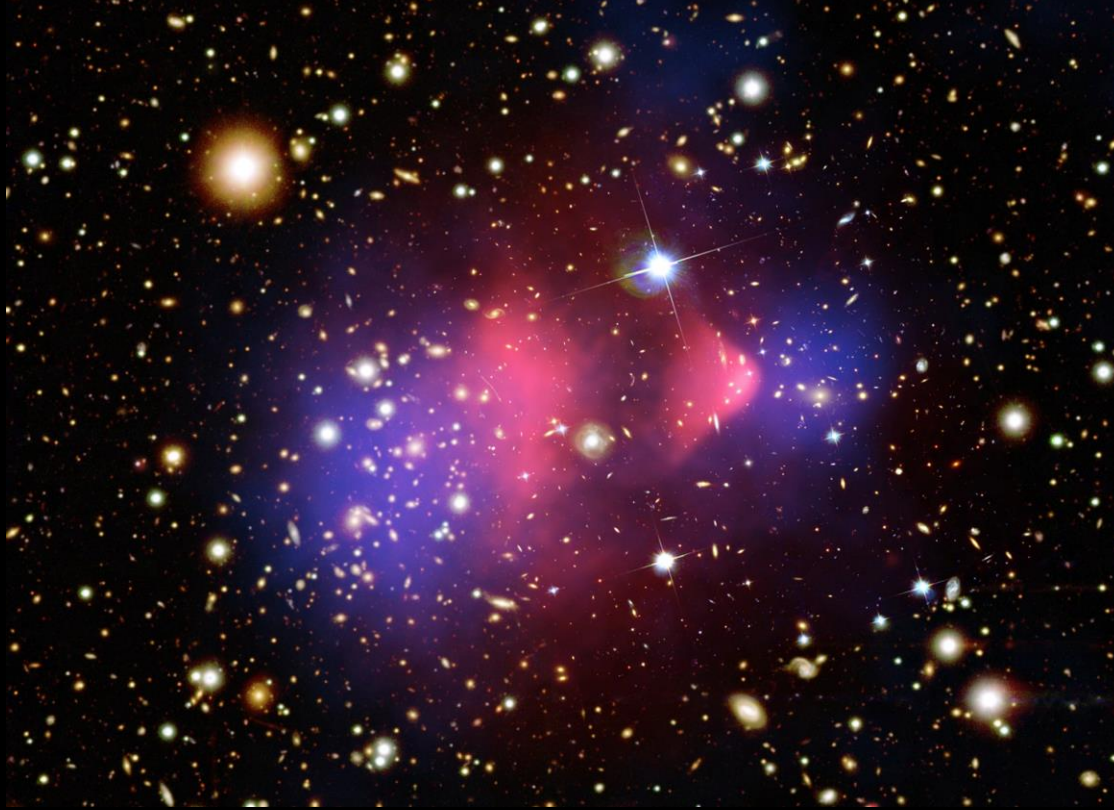
Evrenin içeriği:

%4.9 görünen madde

%26.8 karanlık madde

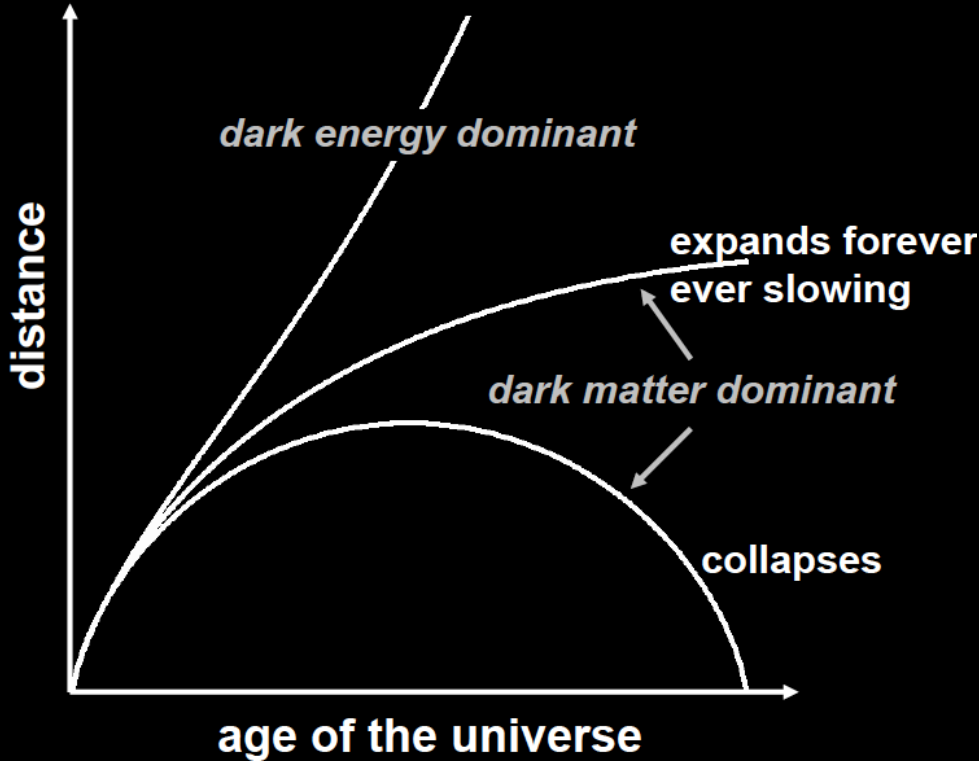
%68.3 karanlık enerji

SM eksikleri: Karanlık madde



Karanlık maddenin varolduğuna dair **dolaylı deneysel kanıta** sahibiz, ancak karanlık maddenin doğasını henüz bilmiyoruz. Karanlık madde büyük olasılıkla **parçacıklardan** oluşmaktadır.

SM eksikleri: Karanlık enerji



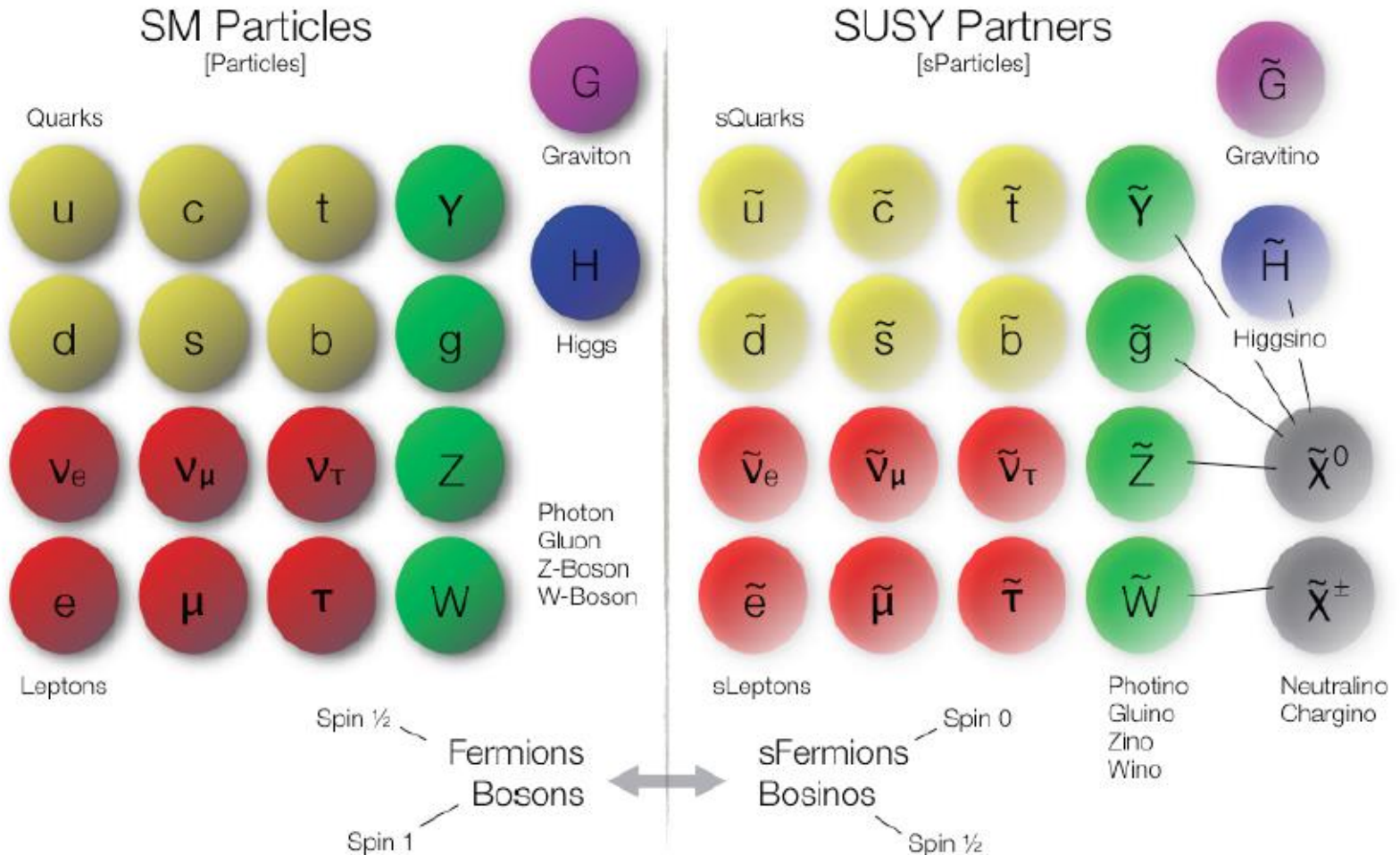
Karanlık enerji evrendeki vakumla bağlantılı bir enerji formudur. Evrende homojen olarak dağılmıştır ve **evrenin ivmelenerek genişlemesinden sorumludur.**

Ne yapıyoruz?

- Standart Model'i **kapsayan**, ancak eksiklerine de **tamamlayıcı çözümler öneren** yeni fizik kuramları oluşturuyoruz.
- Bu kuramlar çoğunlukla **yeni parçacıkların** varlığını öngörüyor.
- Öngörülen parçacıkları BHÇ verilerinde arıyoruz.

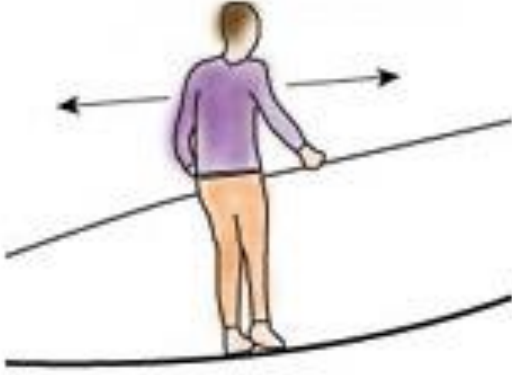
Aday kuram: Süpersimetri

Süpersimetri (SUSY) fermionlar ve bozonlar arasında – ya da madde ve kuvvet arasında bir simetridir. Yeni parçacıkların varlığını öngörür. Bilinen her SM parçacık için spini farklı ve daha ağır bir s(üper)parçacık bulunduğunu söyler.

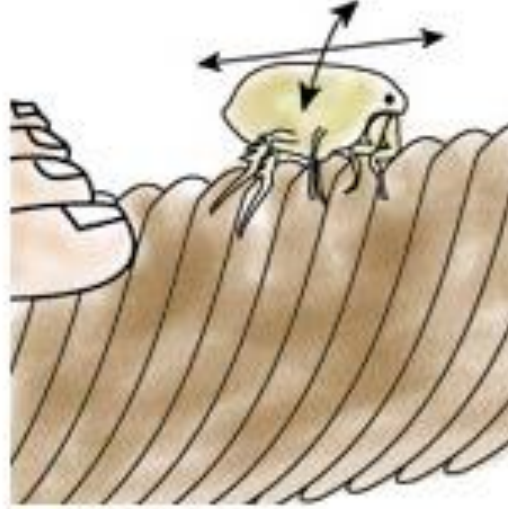


Aday kuram: Ek boyutlar

Uzayda 3ten fazla boyut olabilir. Ek boyutlar küçük ve kıvrılmış olabilirler. Bu tür boyutların varlığı parçacıkların etkileşimlerini değiştirebilir.

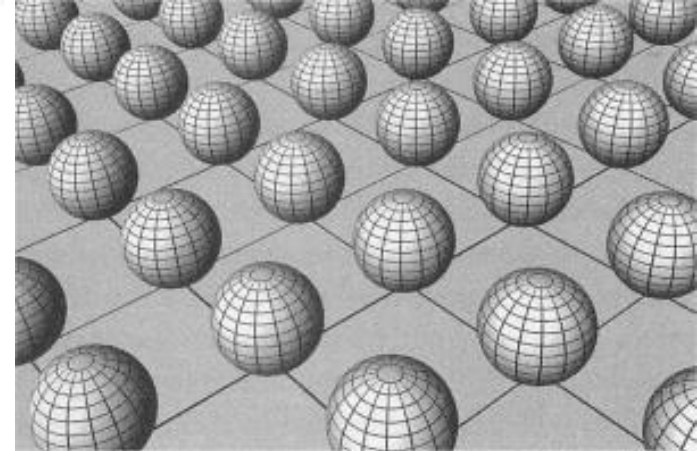


An acrobat can only move in one dimension along a rope..



...but a flea can move in two dimensions.

Mesela ek boyutların içerisine girildiğinde kütleçekim kuvveti artar.



LHC'de yeni fizik arıyoruz... ama ufak bir sorun var:



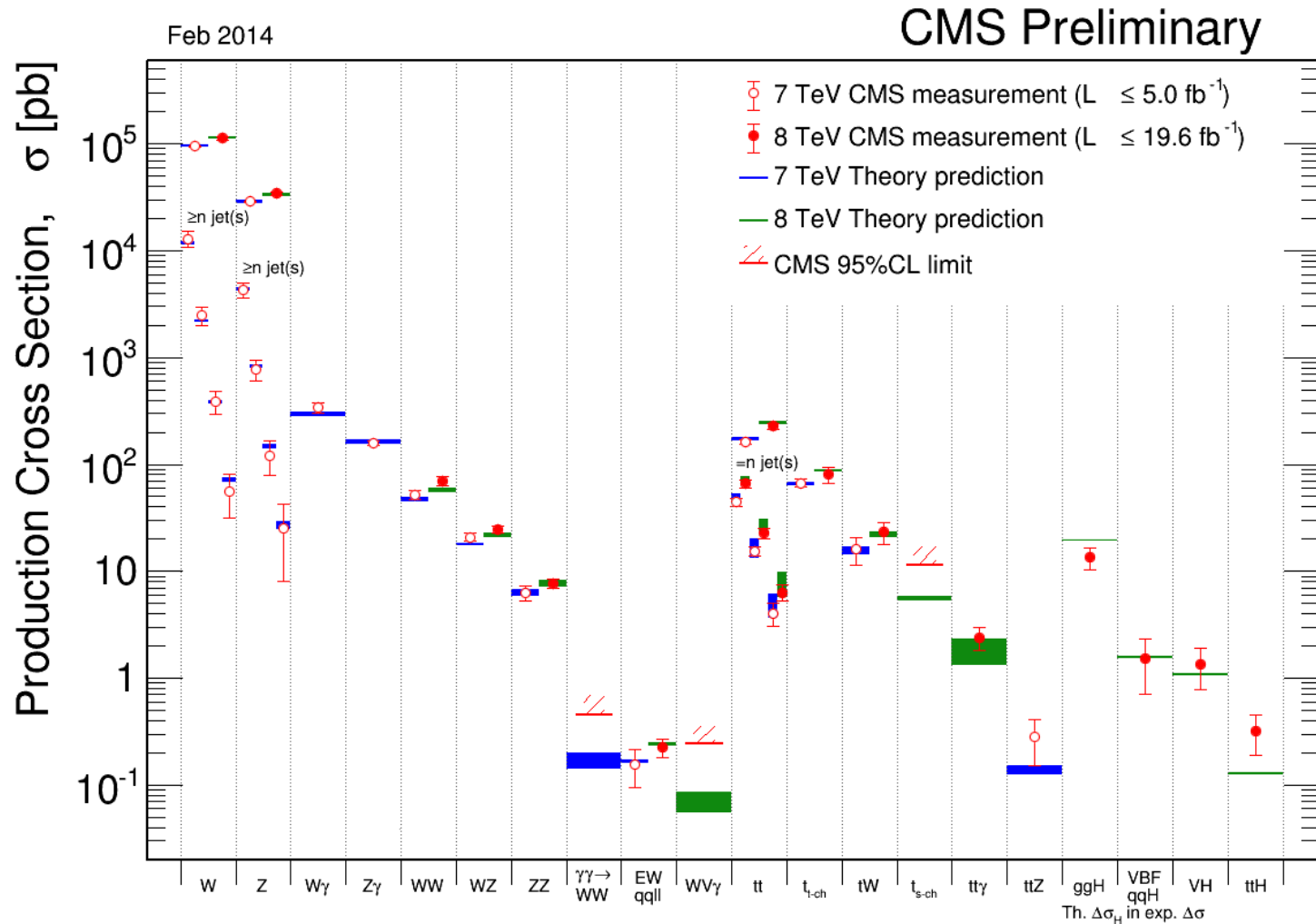
LHC'de yeni fizik arıyoruz... ama ufak bir sorun var:
Ne aradığımızı bilmiyoruz!



LHC'de yeni fizik nasıl ararız?

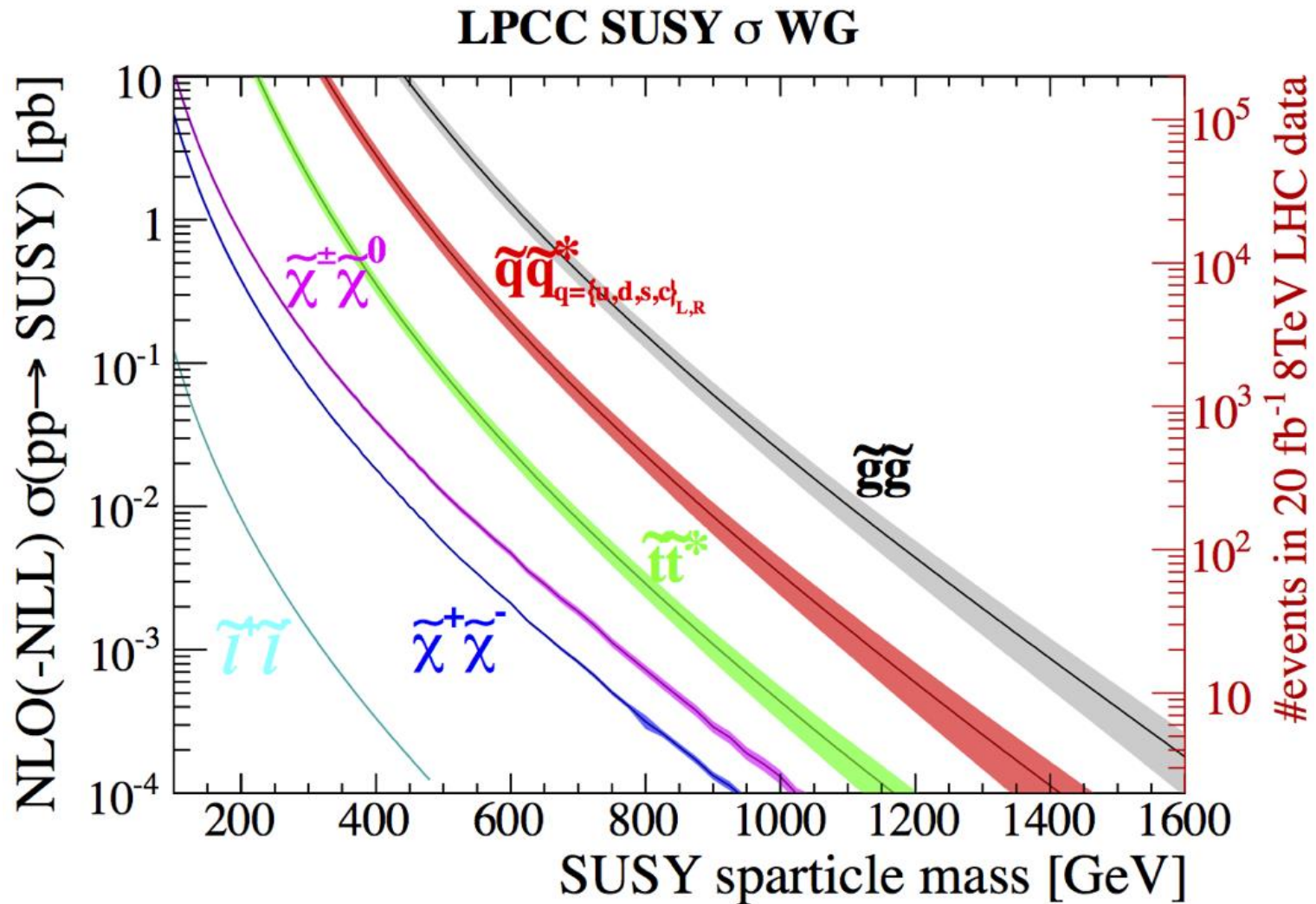
- **Aday kuramdan bağımsız aramalar:**
 - Öncelikle **SMnin baskın olduğu son durumlarda** ölçümler yaparak SMi doğrularız. Veride SM öngörüsüne göre bir fark olup olmadığına bakarız. Şimdiye kadar fark görmedik.
 - **Çok sayıda farklı son duruma aynı anda kabaca bakarız** ve SMden bir farklılık ararız.
- **Aday kurama bağlı aramalar:**
 - Yeni fizik kuramları arasından sevdiğimiz birini alırız.
 - Aday kuramın **genel karakteristiklerini belirleriz**, ve bu karakteristikler arasında **SMden ayırt edici olanları buluruz**.
 - BHÇ verileri arasından bu **karakteristiklere sahip olan olayları seçeriz**.
 - Seçimden **kaç tane SM olay geçmiş** olabileceğini hesaplarız.
 - **Hesaplanan SM miktarını seçilmiş verilerle karşılaştırırız** ve **fark** çıksın diye umut ederiz.
 - Eğer **fark çıkarsa değişik kanallarda ölçüm** yaparak yeni parçacığı tanımaya çalışırız.
 - Eğer **fark çıkmazsa** veride fazlalık öngören yeni kuramları **dıştalarız**.

LHC'de ne kadar SM oluşur?



Bunların yanısıra 10^7 pb ile QCD aralan var. QCD'de 2 ya da fazla jet oluşuyor.

LHC'de ne kadar yeni fizik oluşması beklenir?

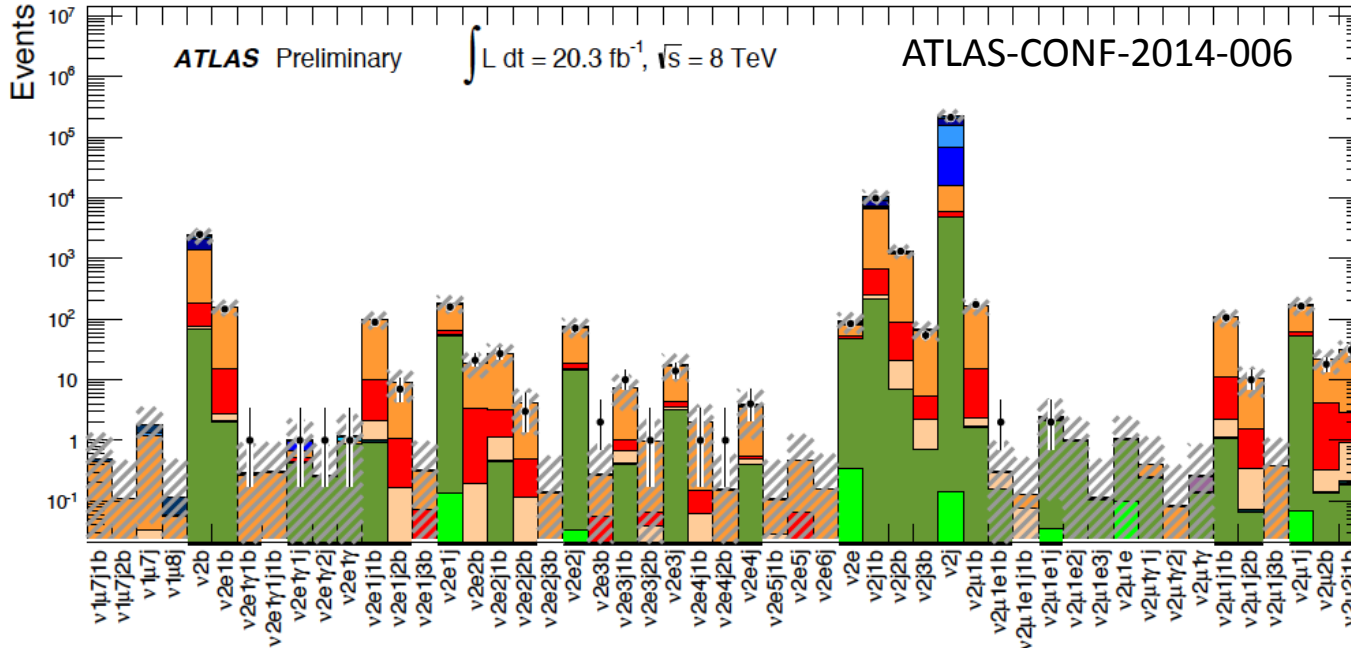


<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/LHCPhysics/SUSYCrossSections>

arXiv:1206.2892

Yeni fiziği “her yerde” aramak

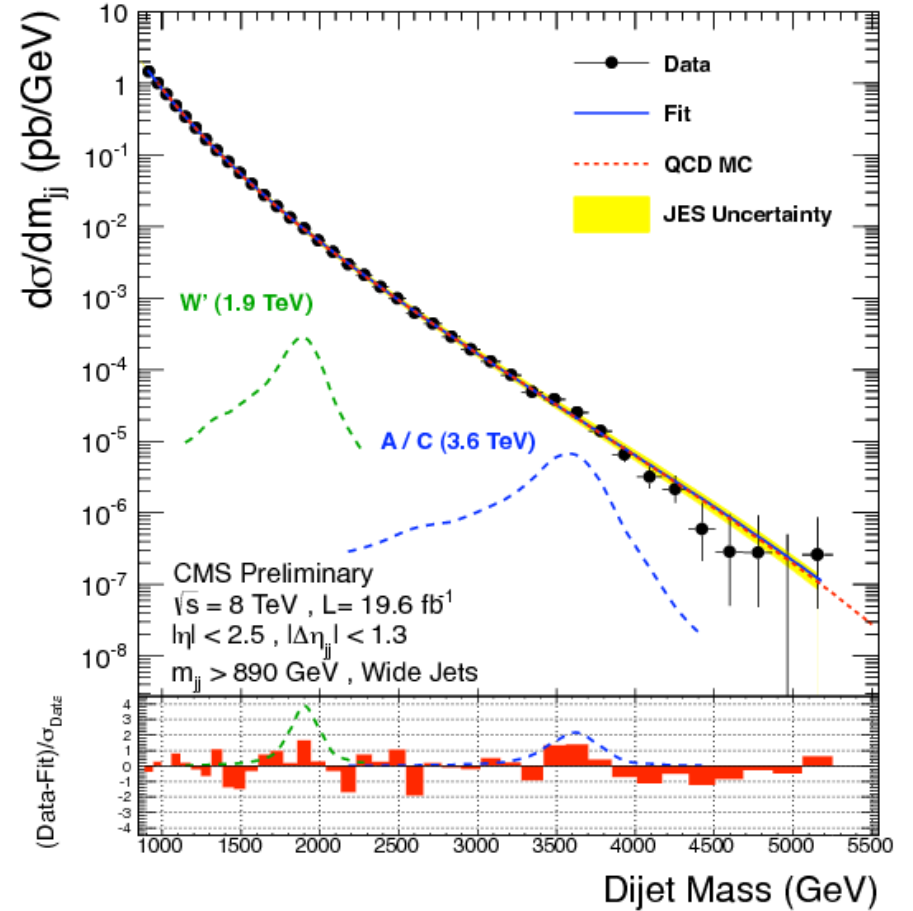
- Yeni fizik kuramlarından herhangi birine odaklanmayı tercih etmiyorsak SM ötesi herhangi bir sinyal yakalamak için **genel arama** yaparız.
- BHÇde gözlemlenecek parçacıkların **olası tüm kombinasyonlarını** ele alırız (örneğin 1 elektron + 3 jet, 2 muon + 2 jet, vs.).
- Her kombinasyon için BHÇ verilerini SM beklentisi ile karşılaştırıp farklılık ararız.
- Bu yöntem SM ötesi kuramların karakteristiklerine yönelik arama yapmadığı için **çok duyarlı değildir, ancak yönlendiricidir.**



ATLAS 697 farklı kombinasyonda yeni fizik aramış, ancak sinyale rastlamamıştır.

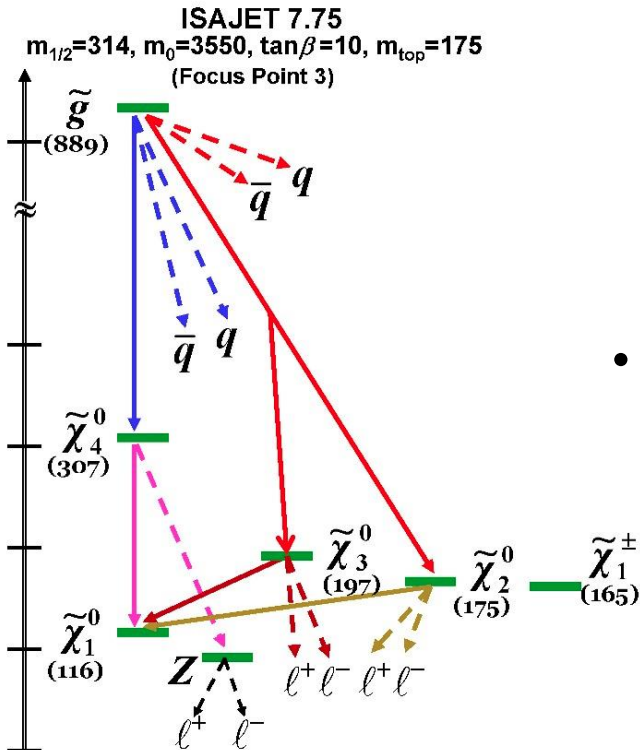
Rezonanslar

- Eğer ağır bir parçacığın bozunduğu tüm parçacıkları algıpta gözleyebiliyorsak ağır parçacığı tanımlayabiliriz ve **değişmez kütesini hesaplayabiliriz** (tıpkı Higgs'te olduğu gibi)
- SM ötesi parçacıklardan birçoğu SM parçacıklara bozunur ve BHÇ'de varlıkları araştırılabilir. Önerilen parçacıklardan çoğu 2 kuarka ya da 2 gluona (yani 2 jete) bozunur.
- BHÇ'de 2 jetli olayları inceleyip **2 jet değişmez kütle dağılımında SM ile uyumsuzluk ararız.**
- Ama henüz bulamadık...



Süpersimetri araştırmaları

- SUSY 100ün üzerinde serbest parametresi olan bir kuramdır. Çok farklı şekillerde ortaya çıkabilir: farklı süperparçacık kütleleri, farklı tesir kesitleri, farklı dallanma oranları...
- Böylece SUSY BHÇ'de çok çeşitli şekillerde görülebilir.

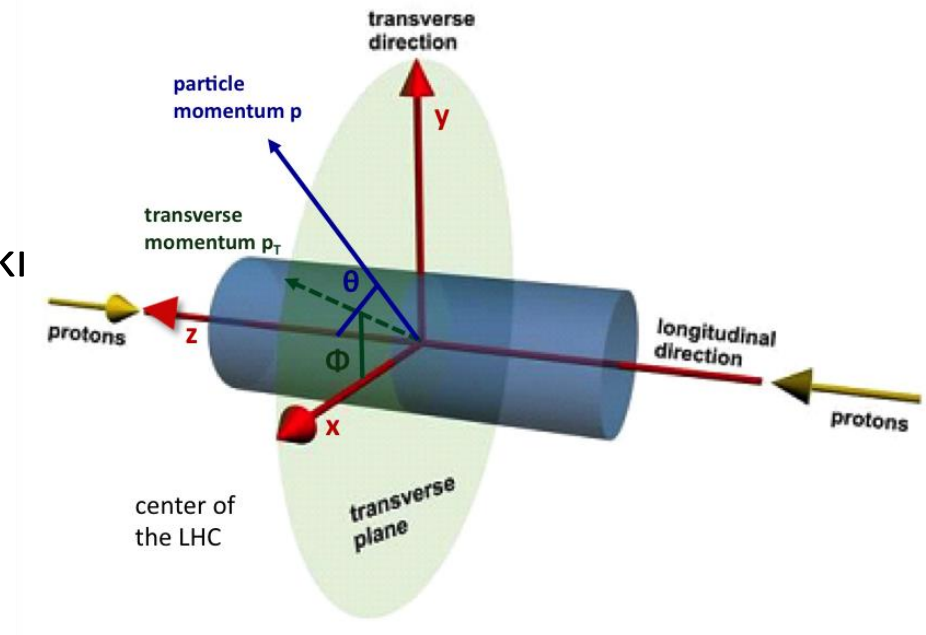


- Ağır parçacıklar daha hafif parçacıklara + SM parçacıklara bozunabilir ve çok miktarda ve çeşitlilikte parçacıklar görülebilir.
 - Çok jetli, çok b kuarklı, çok t kuarklı, çok leptonlu son durumların herhangi birinde SUSY izlerine rastlayabiliriz.
- Klasik SUSYnin en belirgin özelliği ağır, kararlı, yüksüz ve algıçta gözlenemeyen parçacıklara sahip olmasıdır. Her SUSY olayında bu parçacıklardan mutlaka bulunur. Bu parçacıklar karanlık madde adayıdır.
 - Görünmeyen parçacıkları görmeye çalışırız.

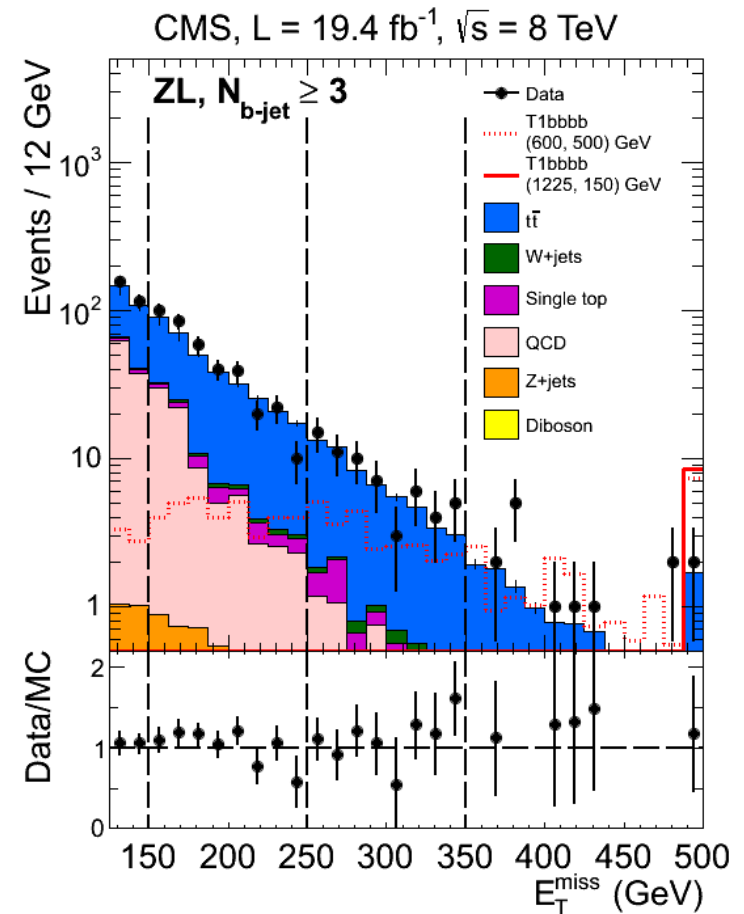
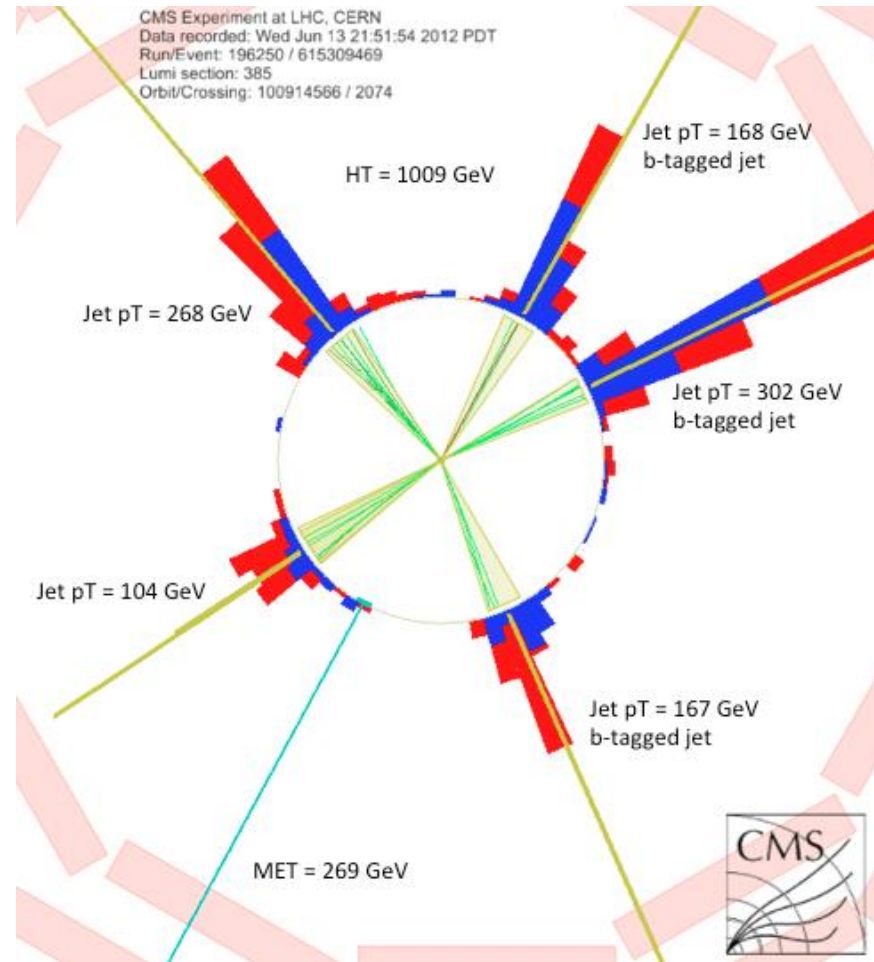
Kayıp dikey enerji (missing transverse energy)

- Bazı parçacıklar algıç ile etkileşmeden algıçtan çıkarlar. Bu parçacıkların varlığını **kayıp enerjiden** anlarız.
- Enerji/momentum korunumu yasasına göre ne kadar enerji/momentum ile başlamışsak sonuçta o kadar enerji/momentum görmemiz gerekir. Eğer denklik bozulmuşsa algıçtan kaçan parçacıklar olduğunu anlarız.
- FAKAT – proton yönünde ne kadar enerji olduğunu bilemeyiz, çünkü etkileşimi gerçekleştiren kuark ve gluonlar proton enerjisinin sadece bir kısmını taşırlar.
- Ancak çarpışmaya dik düzlemde başlangıçta toplam E, p sıfırdır ve sonuçta da sıfır olması gerekir.
- Olayda gözlemlediğimiz tüm parçacıkların momentumlarından farkı hesaplayabiliriz:

$$\vec{p}_T^{kayıp} = - \sum_i \vec{p}_{T,i}$$
$$E_T^{kayıp} = \left| - \sum_i \vec{p}_{T,i} \right|$$



Kayıp dikey enerji (missing transverse energy)



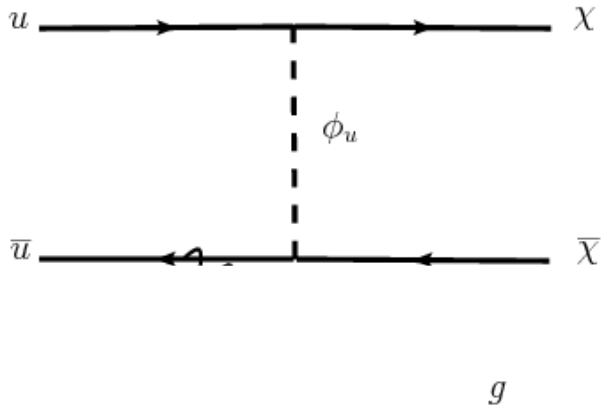
FAKAT – kayıp enerji görmemiz mutlaka kaçak parçacık var demek değildir.

Algıçtaki ölçüm belirsizlikleri de kayıp enerjiye sebep olur.

Biz de gerçek kayıp enerjiyi çakma kayıp enerjiden ayırt edecek yöntemler buluruz.

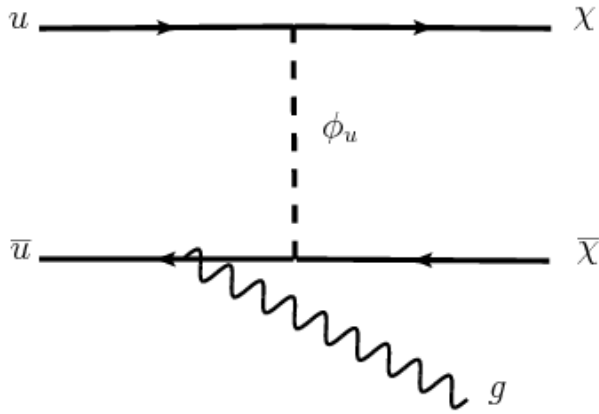
Doğrudan karanlık madde aramak

SUSY ya da diğer kuramlara göre BHÇde
doğrudan da karanlık madde üretebiliriz:



Doğrudan karanlık madde arama

SUSY ya da diğer kuramlara göre LHCde doğrudan da karanlık madde üretebiliriz:

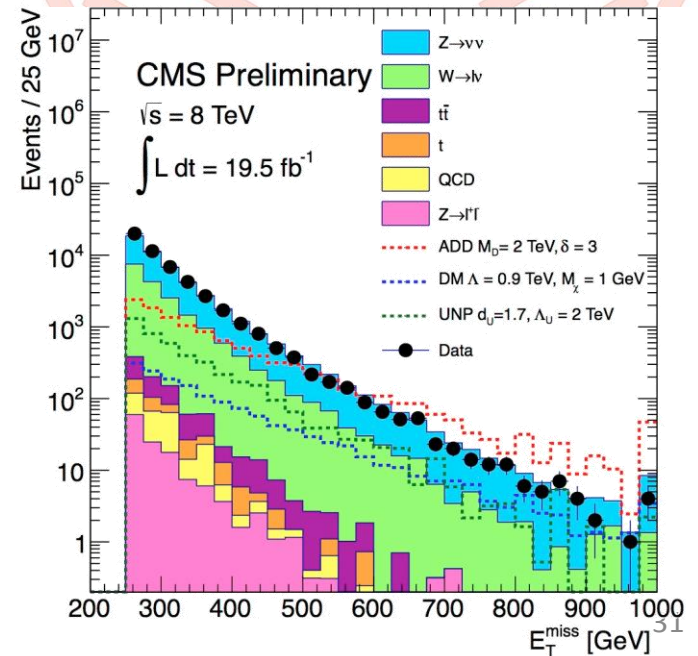
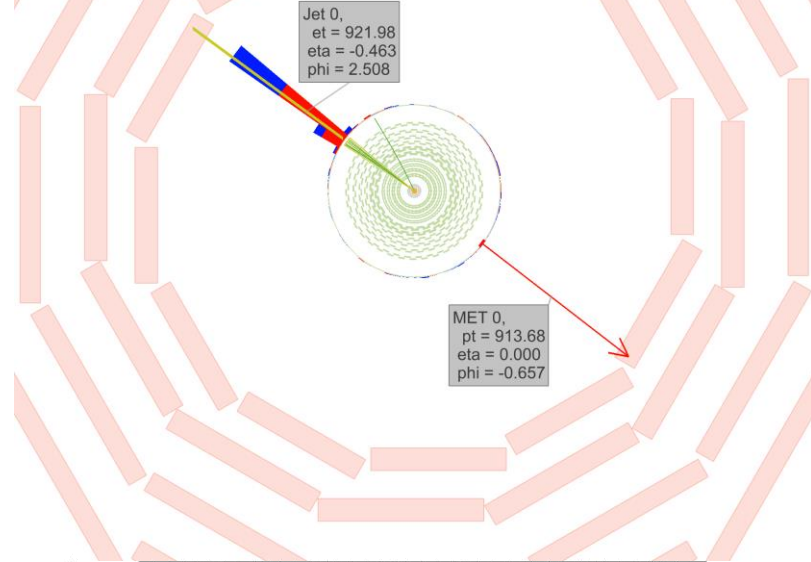


Bu görünmez olayı kuarktan ışınan bir gluon jeti ile görünür yapabiliriz.

BHÇde tek jetli olaylar fazlalığı görmek görünmez parçacıkların doğrudan oluştuğuna işaret edebilir.

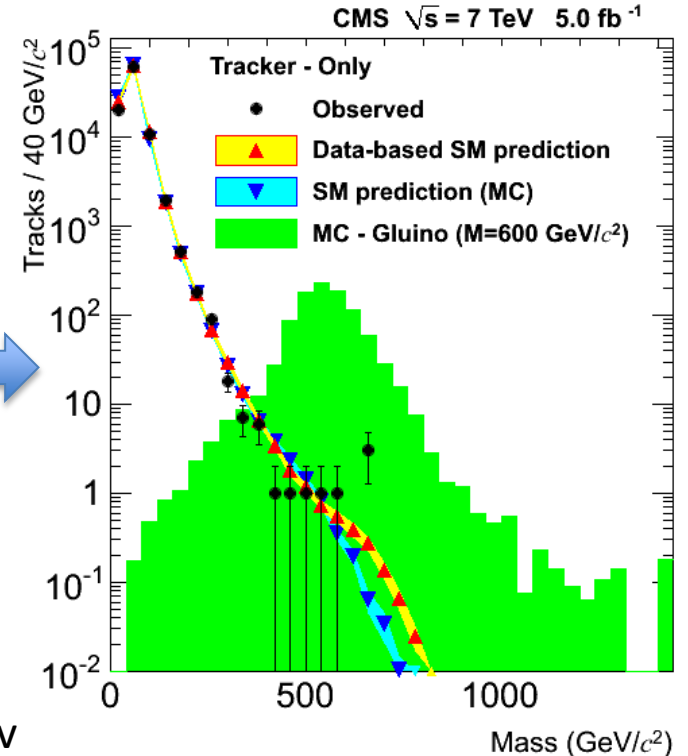
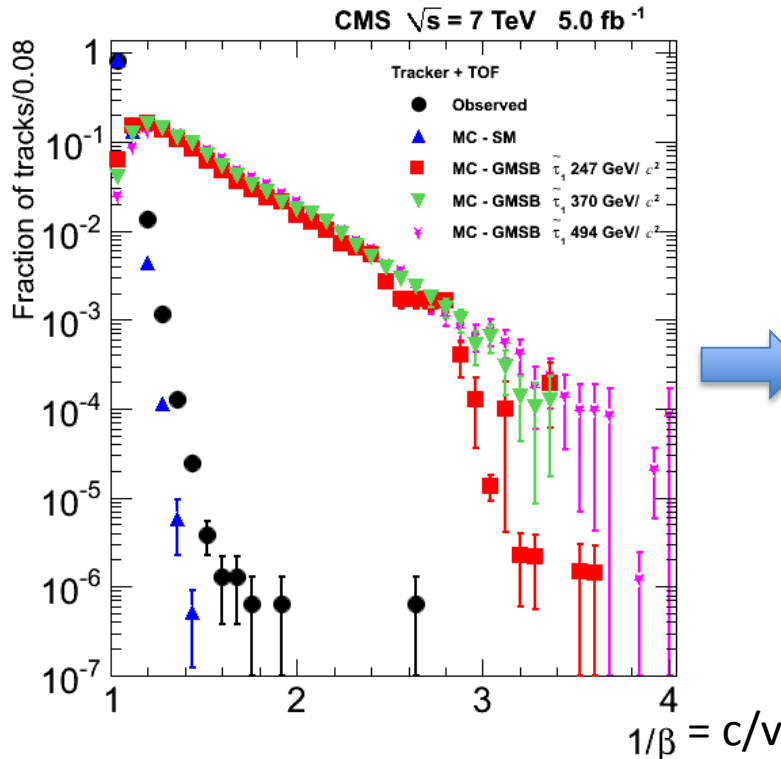


CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Fri Oct 5 20:41:32 2012 CEST
Run/Event: 204553 / 26729384
Lumi section: 31



Ağır, yüklü, uzun ömürlü parçacıklar

- Bazı kuramlar ağır, elektrik yüklü ve uzun ömürlü parçacıklar öngörür.
- Bu parçacıklar bozunmadan algıktan geçebilir, ve yüklü oldukları için muon odalarında görülebilirler.
- Parçacıklar ağır oldukları için ışık hızından düşük hızlarla yol alırlar.
- Muon algıcındaki saatleri kullanarak parçacığın geçiş hızını ölçebiliriz, ve momentum bilgisini de kullanarak parçacığın kütlesini hesaplarız.



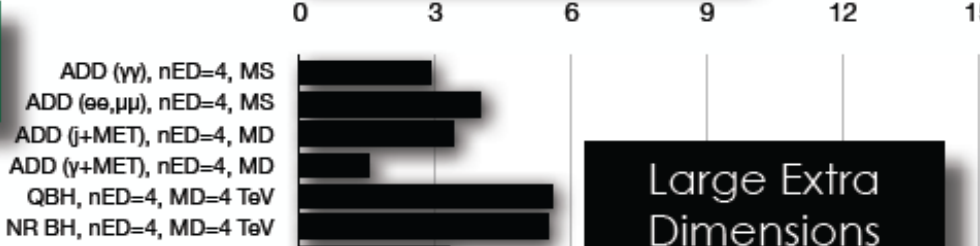
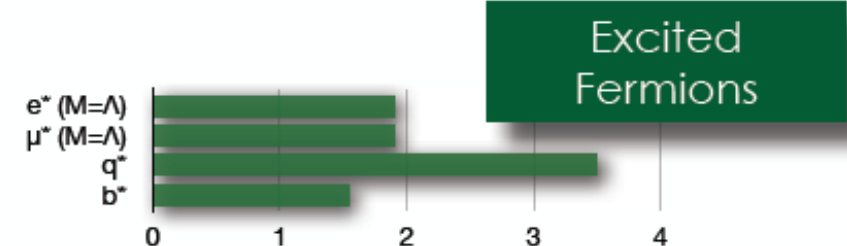
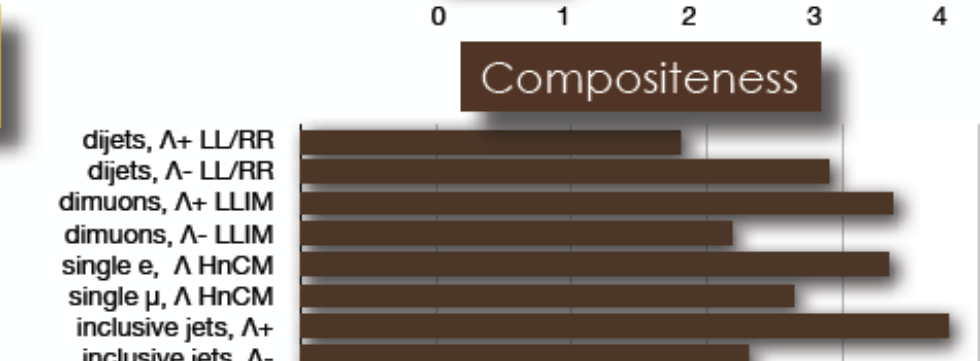
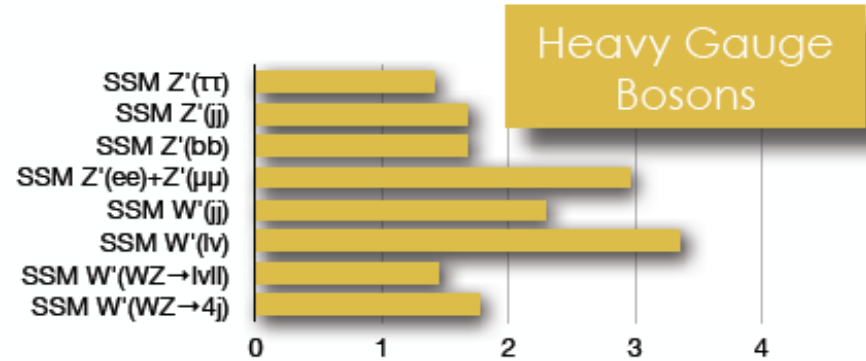
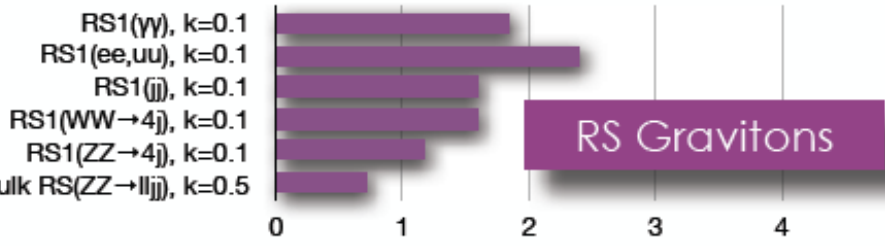
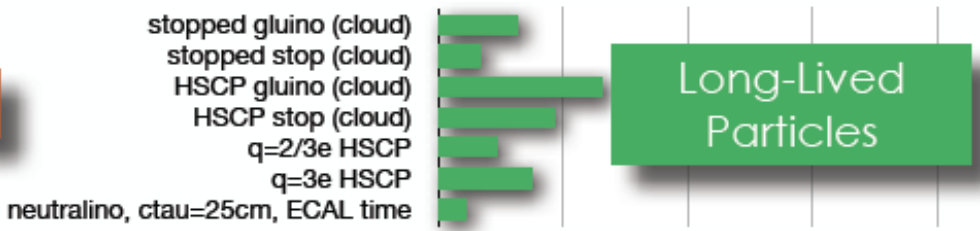
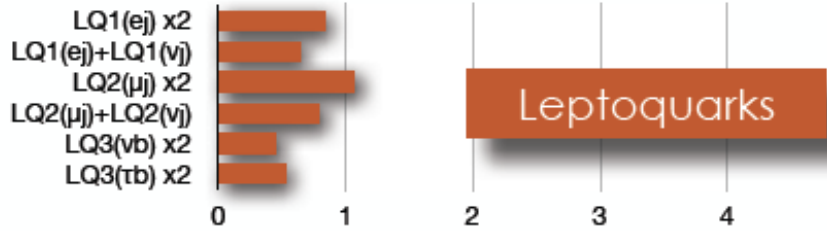
*BHÇ'de SM ötesi parçacıklar
adına ne bulduk?*



...AMA

yine de ilginç şeyler öğreniyoruz.

Yeni fizik sinyalinin yokluğunu kullanarak hangi kuramların daha az olası olduğunu araştırıyoruz.



CMS Preliminary

...AMA

yine de ilginç şeyler öğreniyoruz.

Yeni fizik sinyalinin yokluğunu kullanarak hangi kuramların daha az olası olduğunu araştırıyoruz.

Ve bu bilginin ışığında yeni veri için yeni analizler tasarlıyoruz.

LHC 2015 Haziran'da 13 TeV enerji ile tekrar veri almaya başlıyor!



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