



# Güncel sorunlar ve çözüm arayışı

Sezen Sekmen

CERN Türk Öğretmenler Programı

27 Temmuz – 1 Ağustos 2014

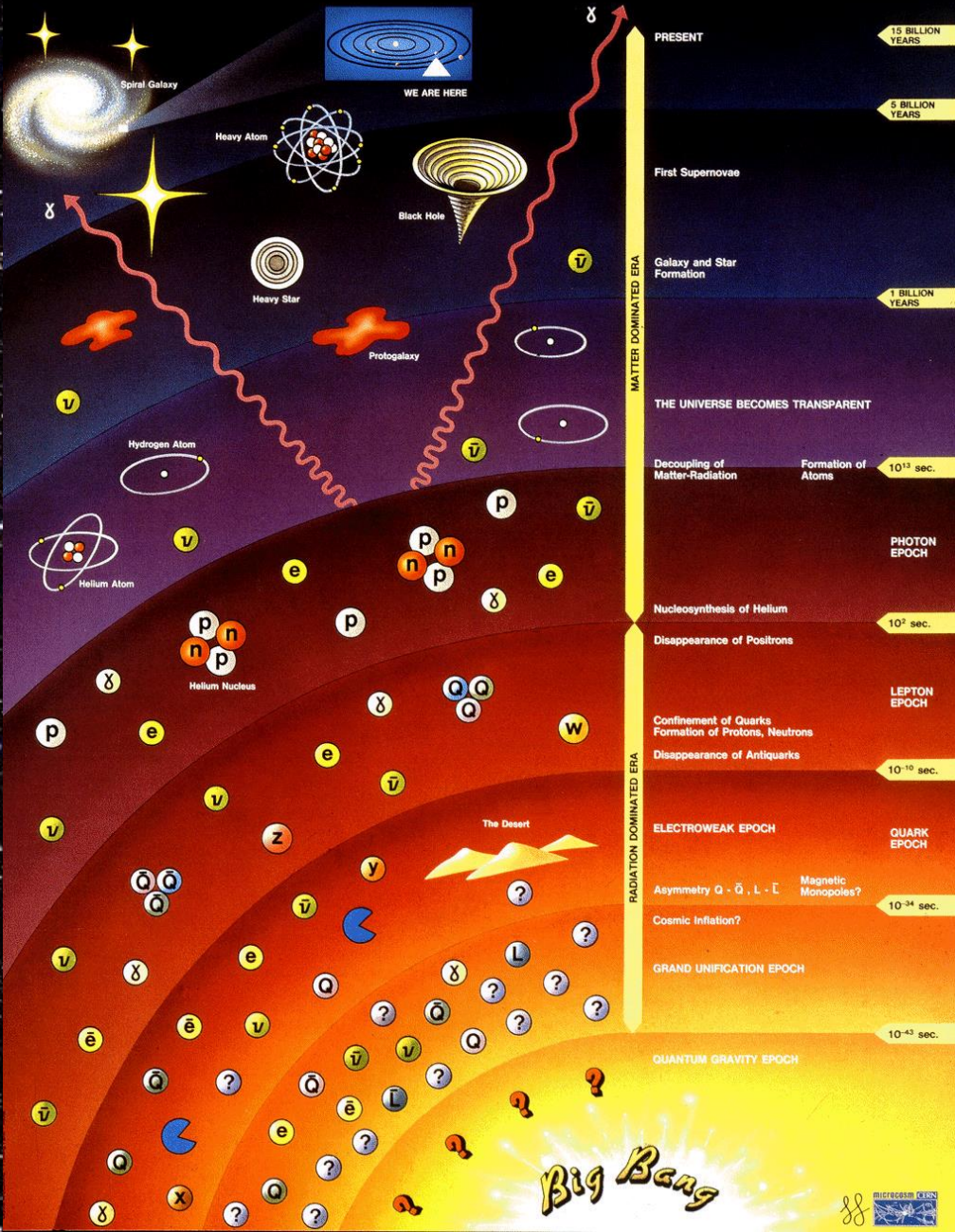
*Maddenin en küçük ögesi bulunmadan insan evreni  
asla anlayamaz.*

Plato



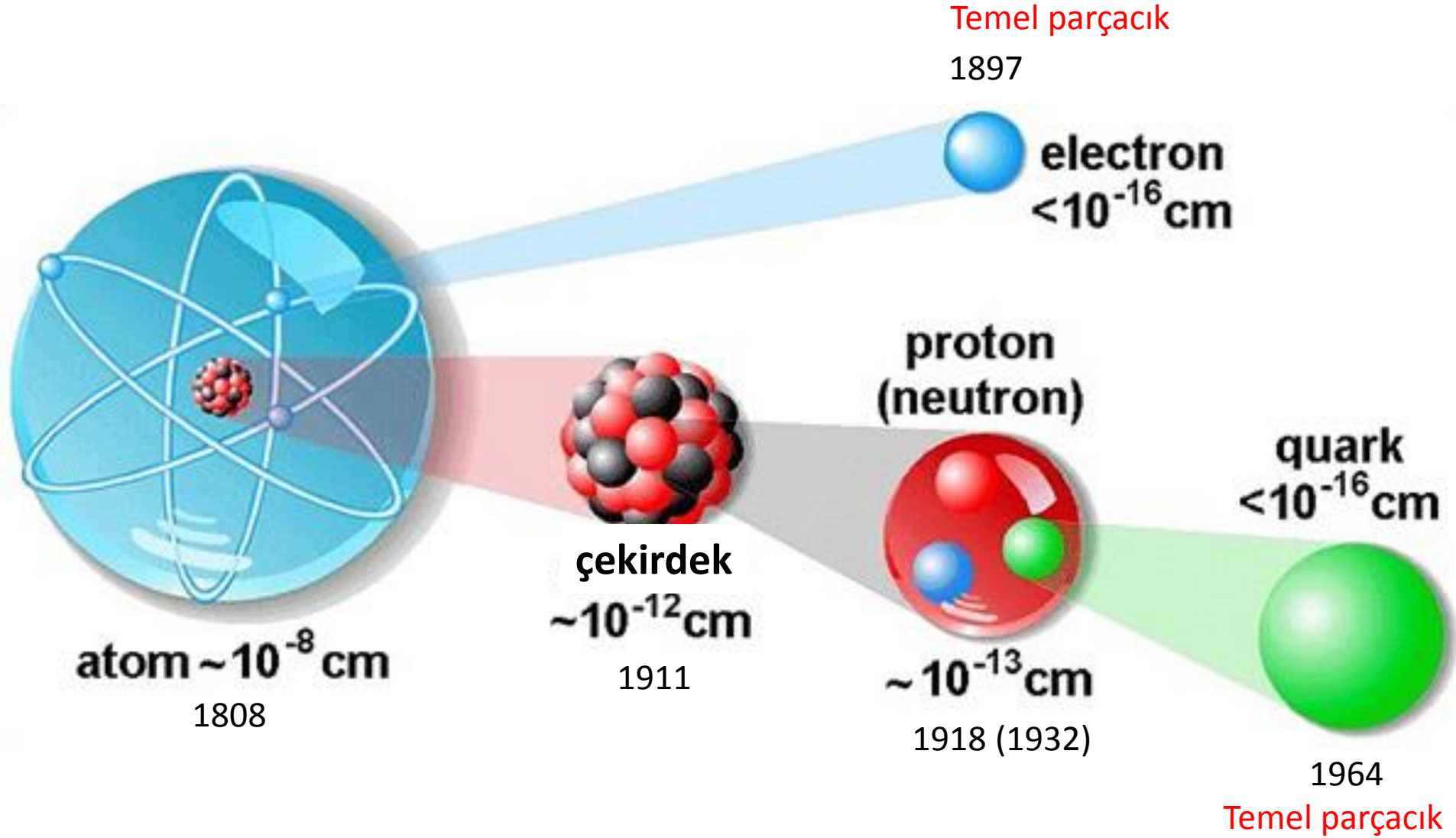
Büyük Patlama'dan sonra evrenimiz bir parçacık kadar küçüktü.

# History of the Universe

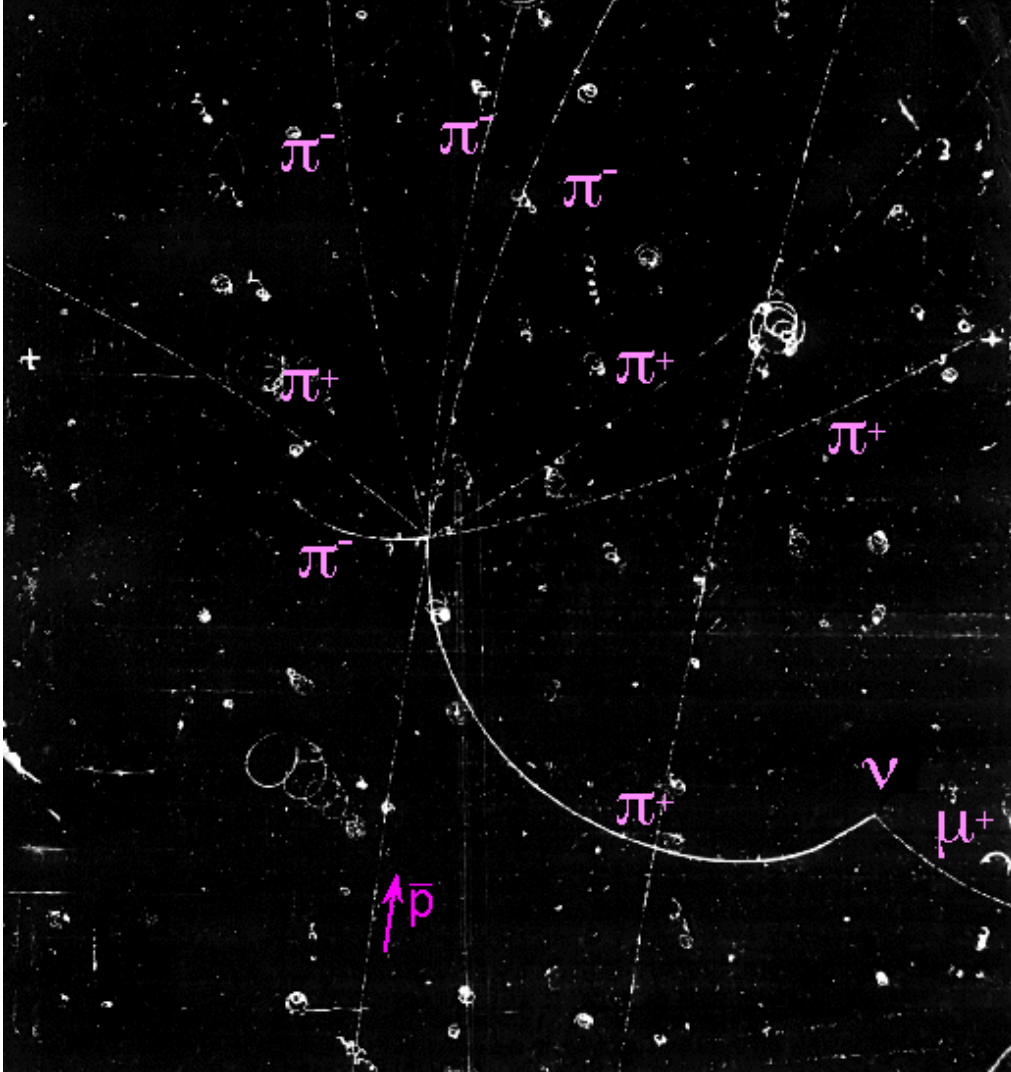


... ve evrenimizin gelişimi parçacıklar ve onların etkileşimiyle doğrudan bağlantılıdır.

# 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 <sup>2</sup>	1.27 GeV/c <sup>2</sup>	171.2 GeV/c <sup>2</sup>	0
charge		2/3	2/3	2/3	0
spin		1/2	1/2	1/2	1
name		<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b>γ</b> photon
	Quarks	4.8 MeV/c <sup>2</sup>	104 MeV/c <sup>2</sup>	4.2 GeV/c <sup>2</sup>	0
		-1/3	-1/3	-1/3	0
		1/2	1/2	1/2	1
		<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b>g</b> gluon
	Leptons	< 2.2 eV/c <sup>2</sup>	< 0.17 MeV/c <sup>2</sup>	< 15.5 MeV/c <sup>2</sup>	91.2 GeV/c <sup>2</sup>
		0	0	0	0
		1/2	1/2	1/2	1
		<b>ν<sub>e</sub></b> electron neutrino	<b>ν<sub>μ</sub></b> muon neutrino	<b>ν<sub>τ</sub></b> tau neutrino	<b>Z<sup>0</sup></b> Z boson
		0.511 MeV/c <sup>2</sup>	105.7 MeV/c <sup>2</sup>	1.777 GeV/c <sup>2</sup>	80.4 GeV/c <sup>2</sup>
		-1	-1	-1	±1
		1/2	1/2	1/2	1
		<b>e</b> electron	<b>μ</b> muon	<b>τ</b> tau	<b>W<sup>±</sup></b> W boson

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

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

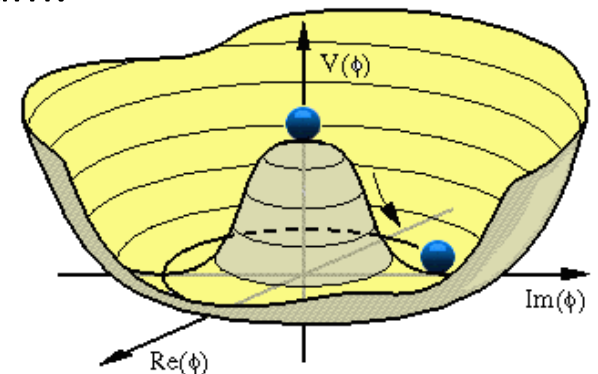
Three Generations of Matter (Fermions)

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

Gauge Bosons

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

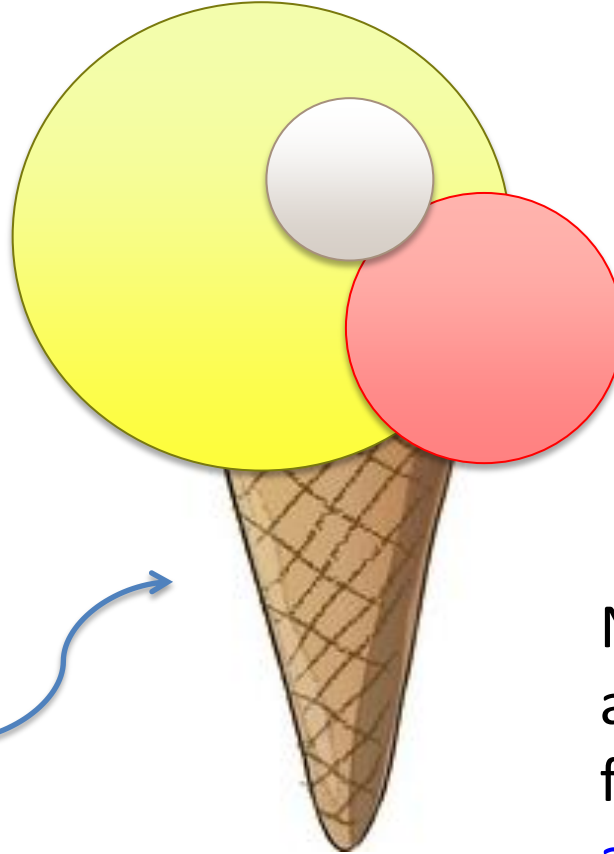
Çözüm:



# 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	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top
Quarks	$4.8 \text{ MeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ <b>d</b> down	$104 \text{ MeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ <b>s</b> strange	$4.2 \text{ GeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ <b>b</b> bottom
	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$ <b><math>\nu_e</math></b> electron neutrino	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$ <b><math>\nu_\mu</math></b> muon neutrino	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$ <b><math>\nu_\tau</math></b> tau neutrino
	$0.511 \text{ MeV}/c^2$ -1 $\frac{1}{2}$ <b>e</b> electron	$105.7 \text{ MeV}/c^2$ -1 $\frac{1}{2}$ <b><math>\mu</math></b> muon	$1.777 \text{ GeV}/c^2$ -1 $\frac{1}{2}$ <b><math>\tau</math></b> tau
Leptons			



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

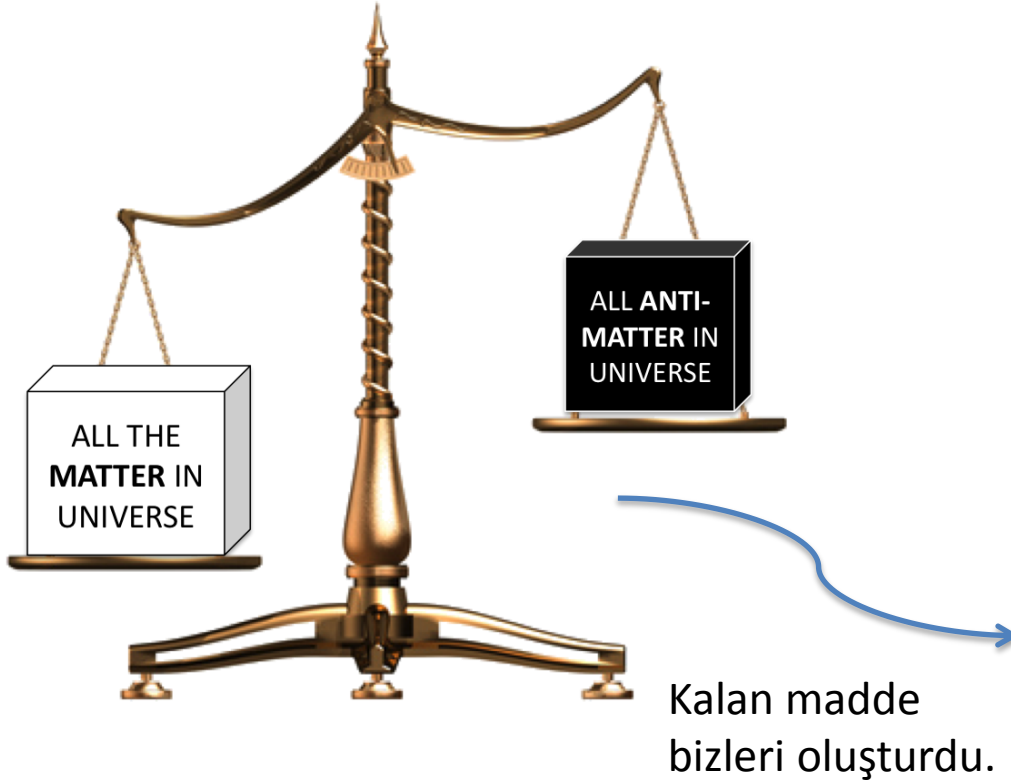


Kütleçekim

# 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?

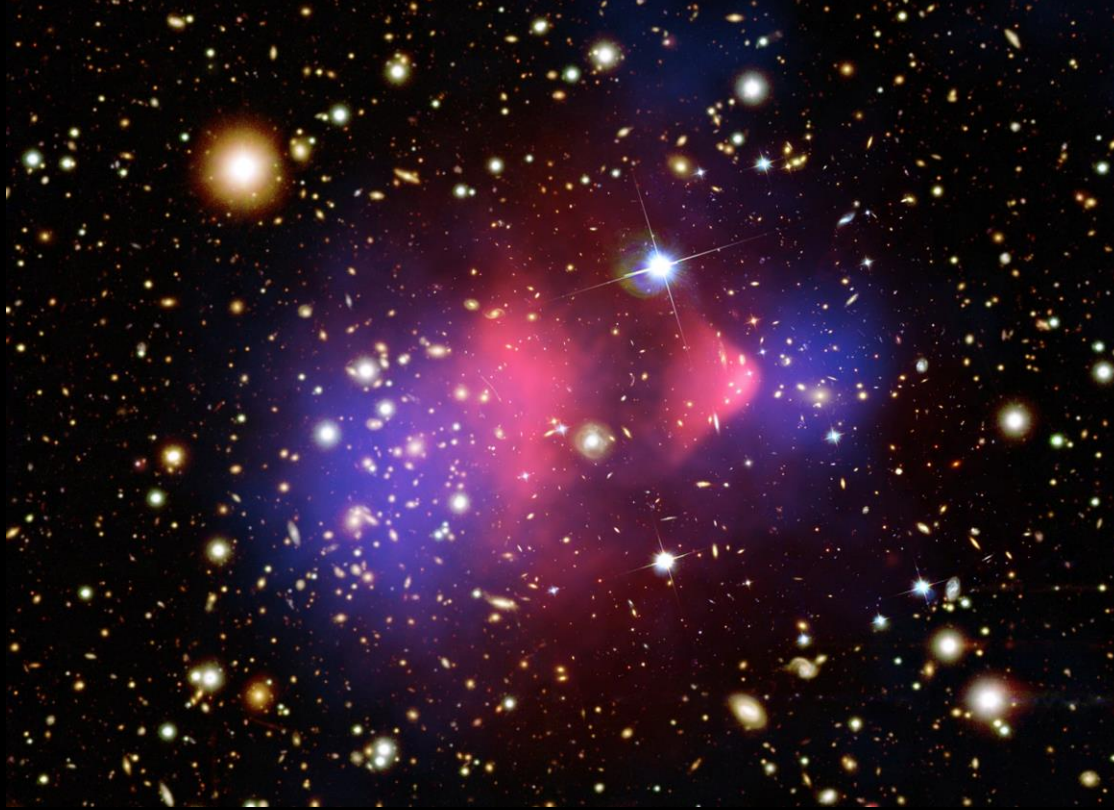
**Evrenin içeriği:**

**%4.9** görünen madde

**%26.8** karanlık madde

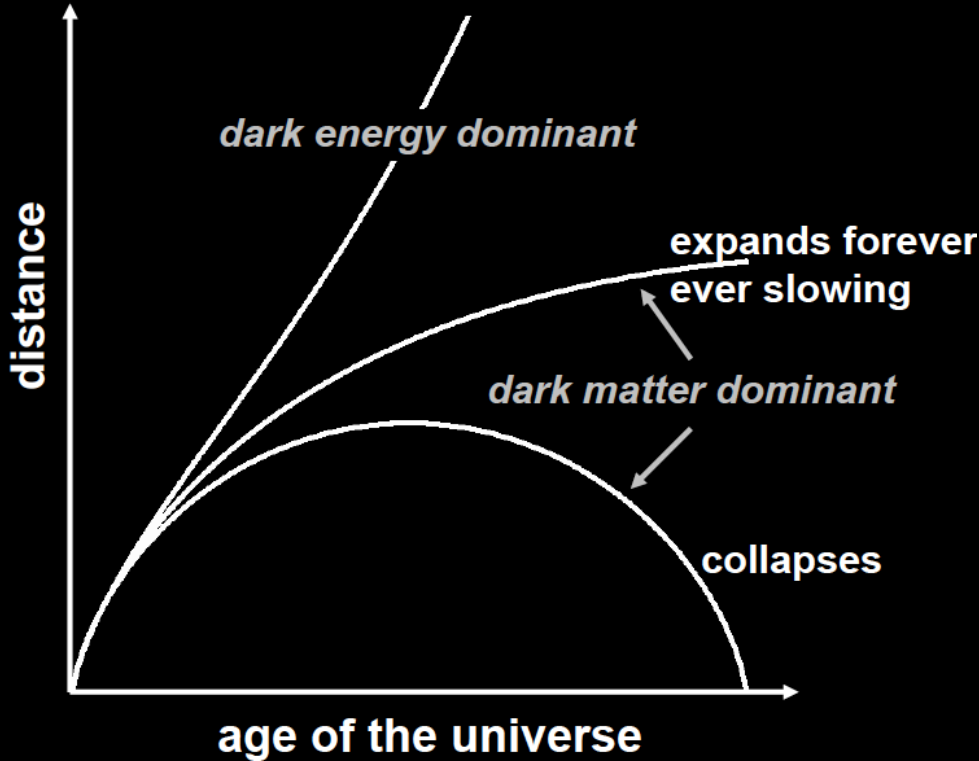
**%68.3** karanlık enerji

## 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.**

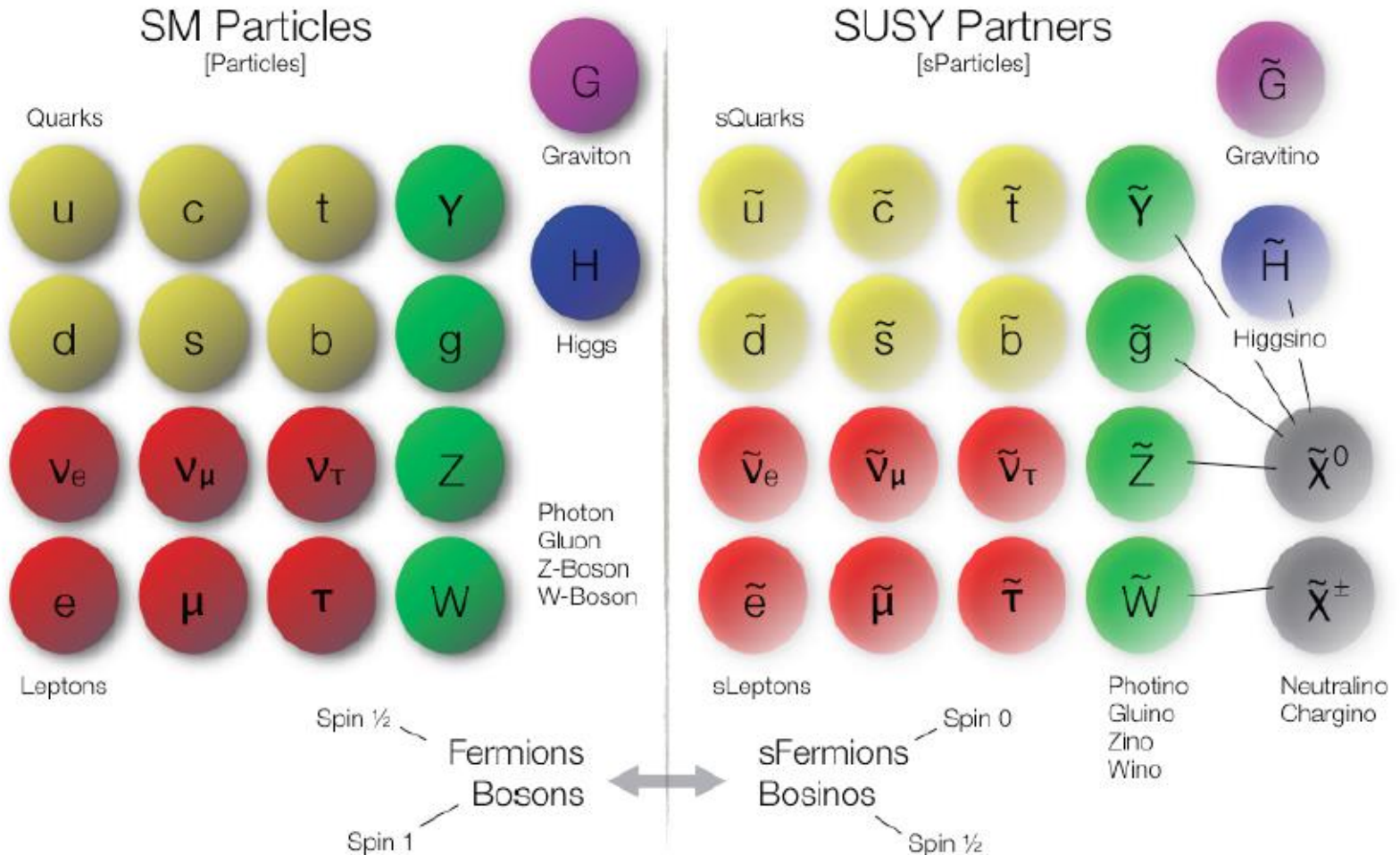


# Ne yapıyoruz?

- 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.

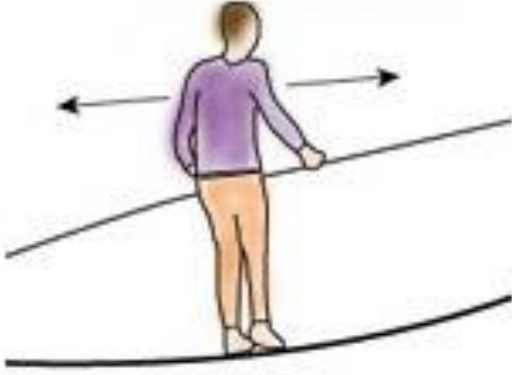
# Aday kuram: Süpersimetri

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.

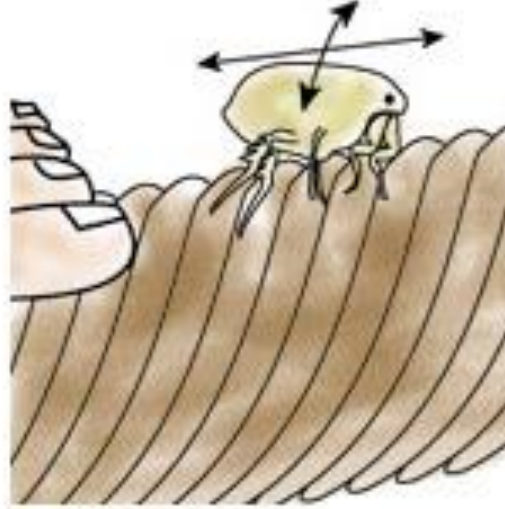


# Aday kuram: Ek boyutlar

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

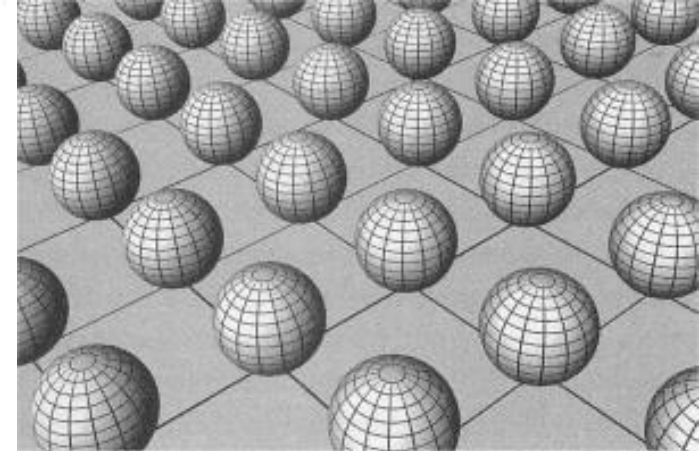


An acrobat can only move in one dimension along a rope..



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

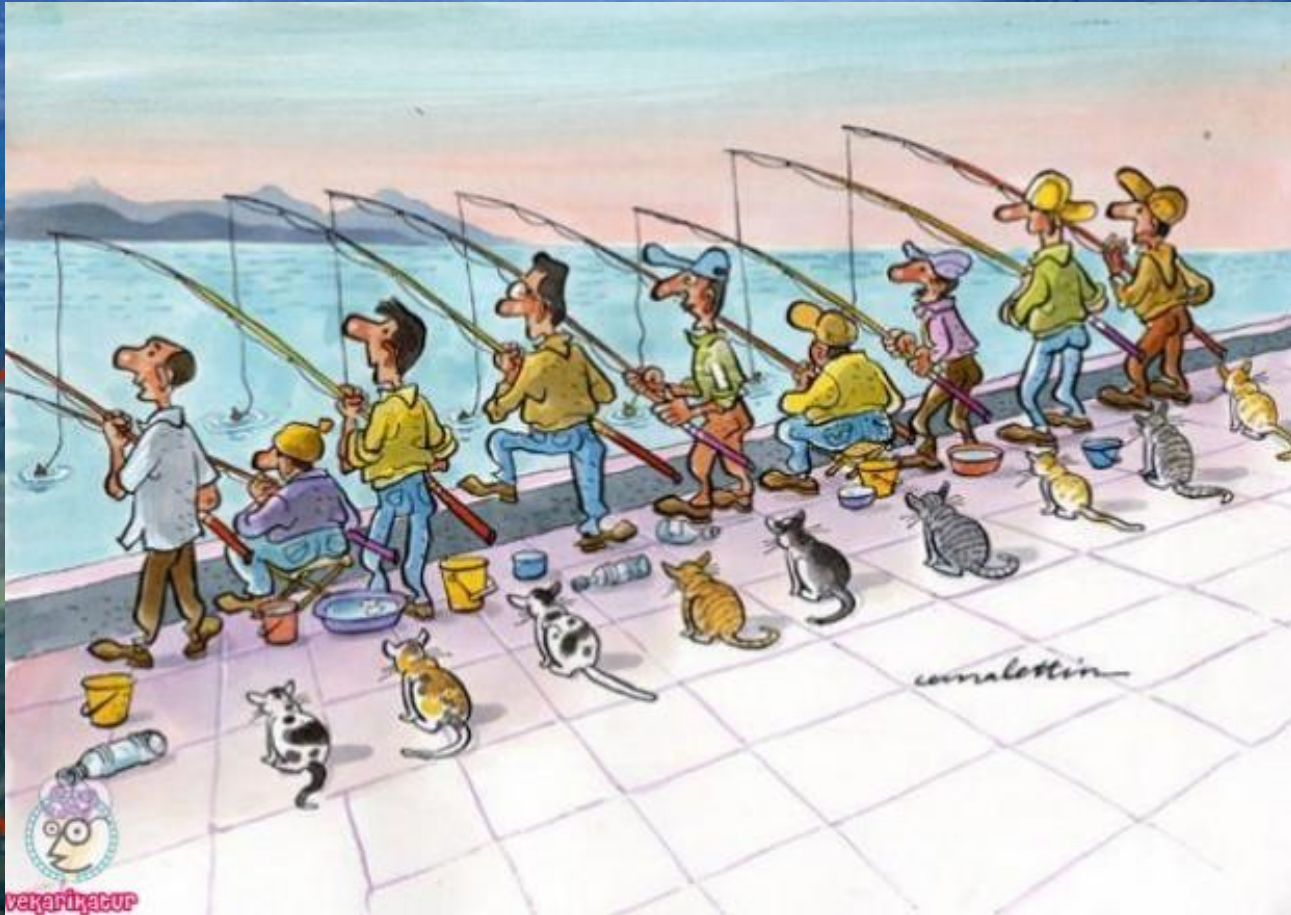
Mesela ek boyutların içerisine girildiğinde kütleçekim kuvveti artar.



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



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

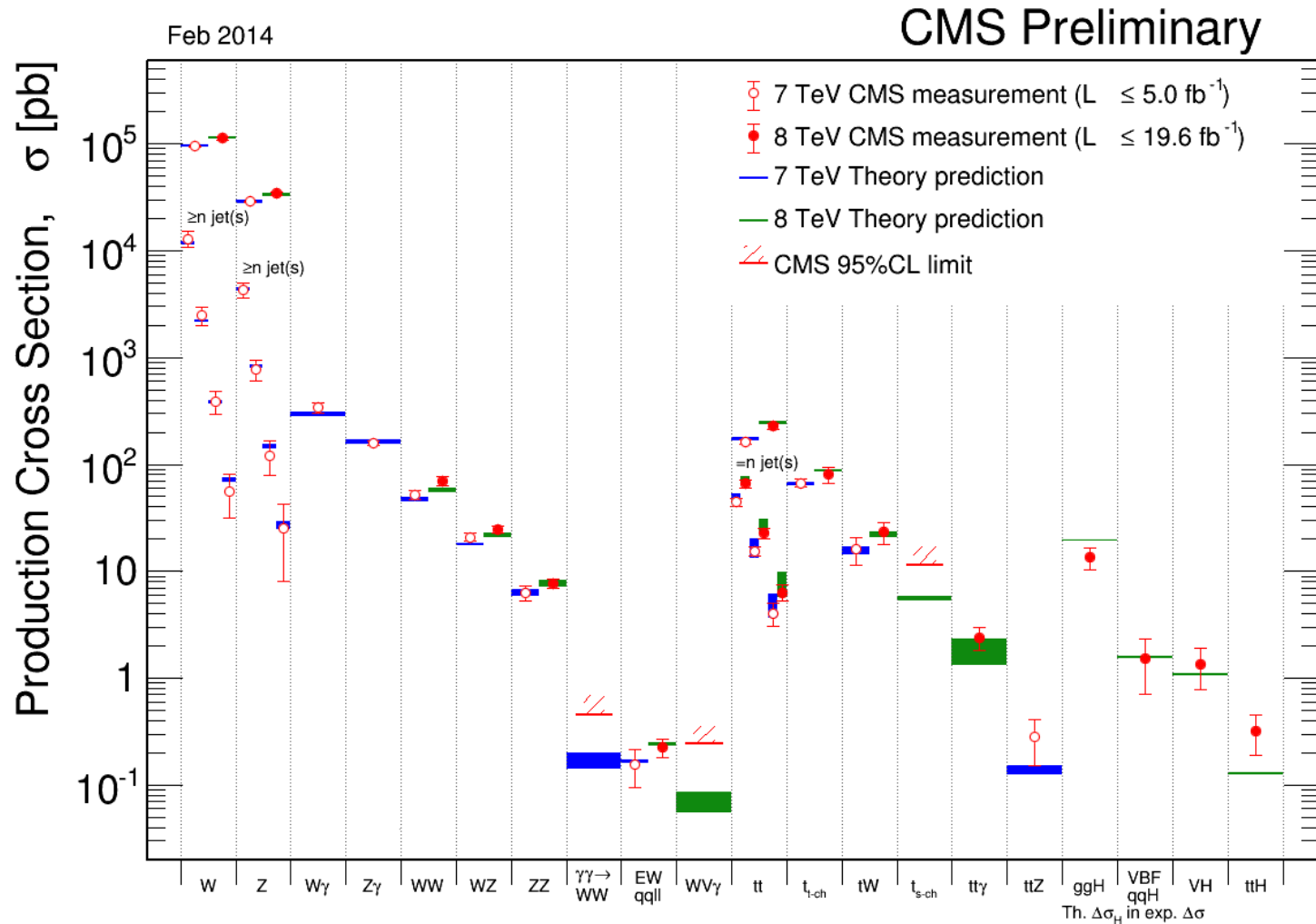


vekarıracup

# BHÇ'de yeni fizik nasıl ararız?

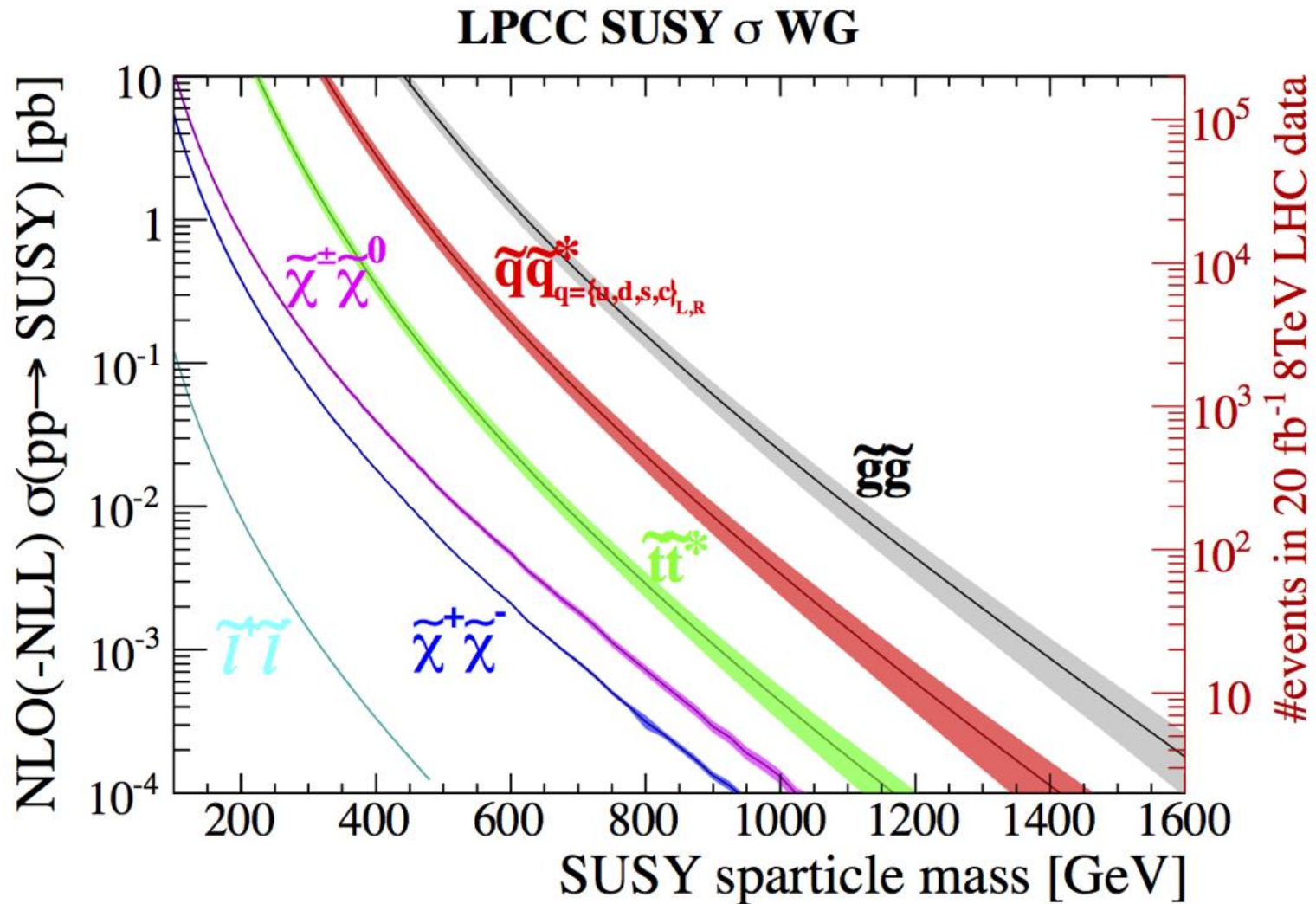
- **Aday kuramdan bağımsız aramalar:**
  - Öncelikle **SMnin baskın olduğu son durumlarda** ölçümler yaparak SMi doğrularız. Veride SM öngörüsüne göre bir fark olup olmadığına bakarız. Şimdiye kadar fark görmedik.
  - **Çok sayıda farklı son duruma aynı anda kabaca bakarız** ve SMden bir farklılık ararız.
- **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  $10^7 \text{ pb}$  ile QCD aralan var. QCD'de 2 ya da fazla jet oluşuyor.

# LHC'de ne kadar yeni fizik oluşması beklenir?



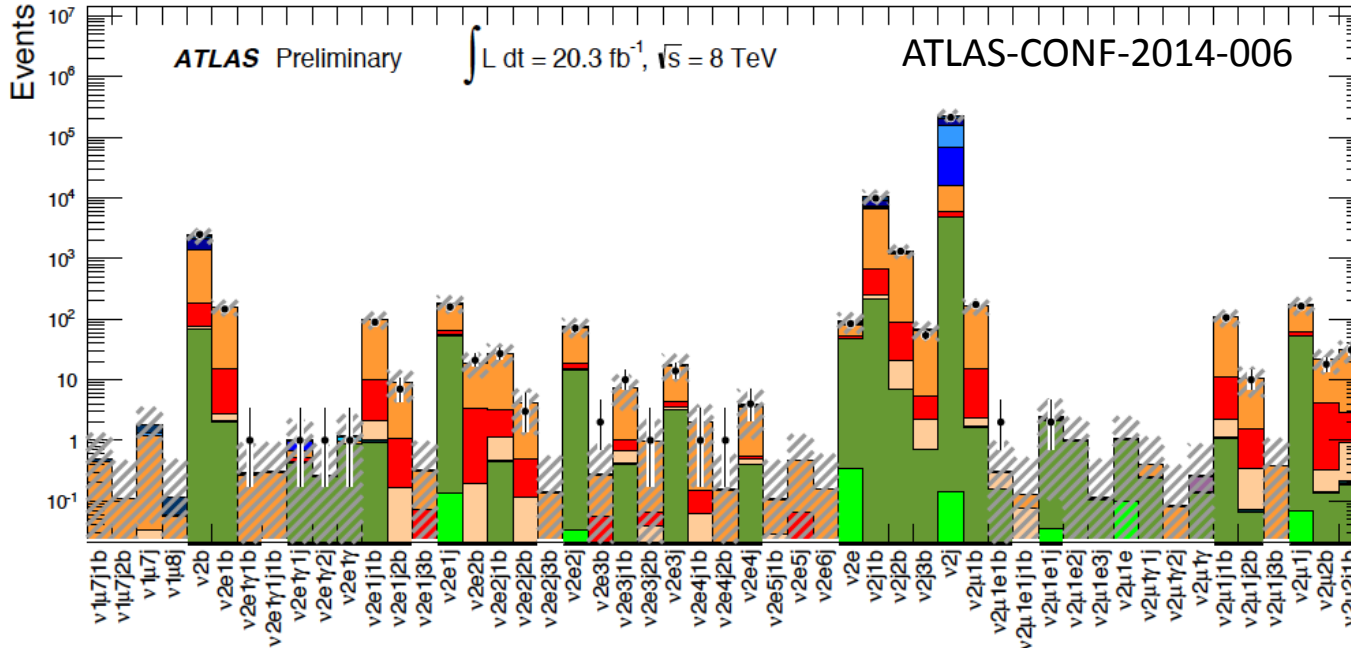
<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/LHCPhysics/SUSYCrossSections>

arXiv:1206.2892



# Yeni fiziği “her yerde” aramak

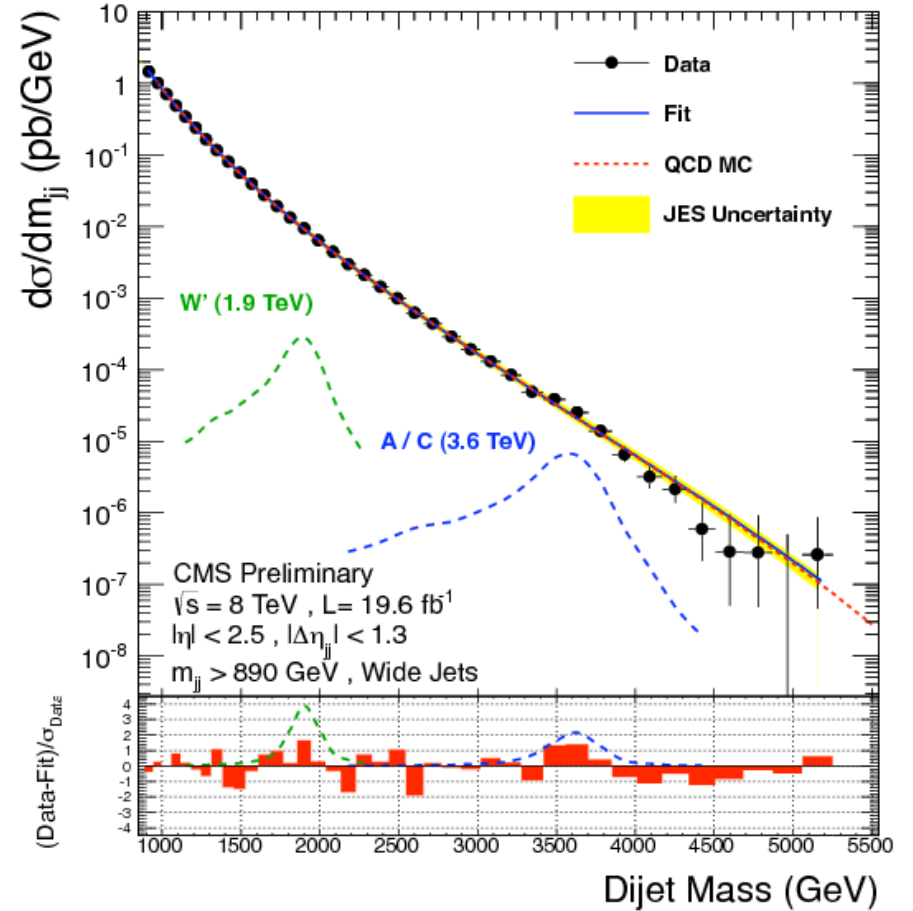
- Yeni fizik kuramlarından herhangi birine odaklanmayı tercih etmiyorsak SM ötesi herhangi bir sinyal yakalamak için **genel arama** yaparız.
- BHÇde gözlemlenecek parçacıkların **olası tüm kombinasyonlarını** ele alırız (örneğin 1 elektron + 3 jet, 2 muon + 2 jet, vs.).
- Her kombinasyon için BHÇ verilerini 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.

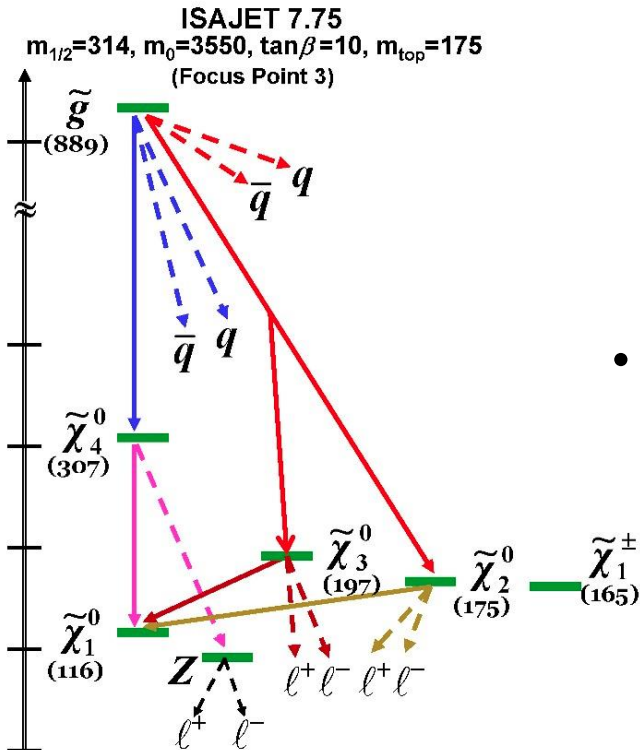
# Rezonanslar

- 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.

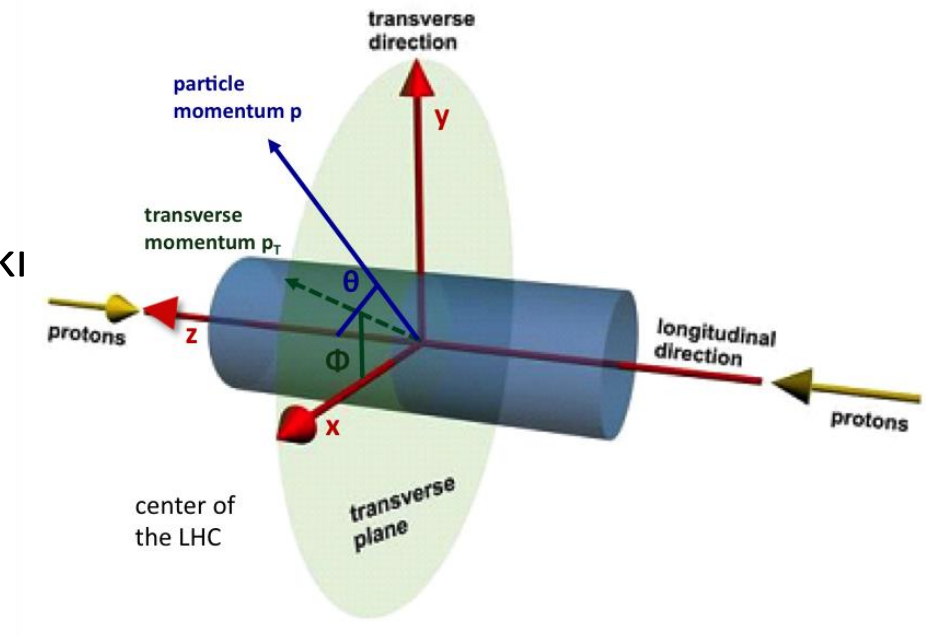


- Ağır parçacıklar daha hafif parçacıklara + SM parçacıklara bozunabilir ve çok miktarda ve çeşitlilikte parçacıklar görülebilir.
  - Çok jetli, çok b kuarklı, çok t kuarklı, çok leptonlu son durumların herhangi birinde SUSY izlerine rastlayabiliriz.
- Klasik SUSYnin en belirgin özelliği ağır, kararlı,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

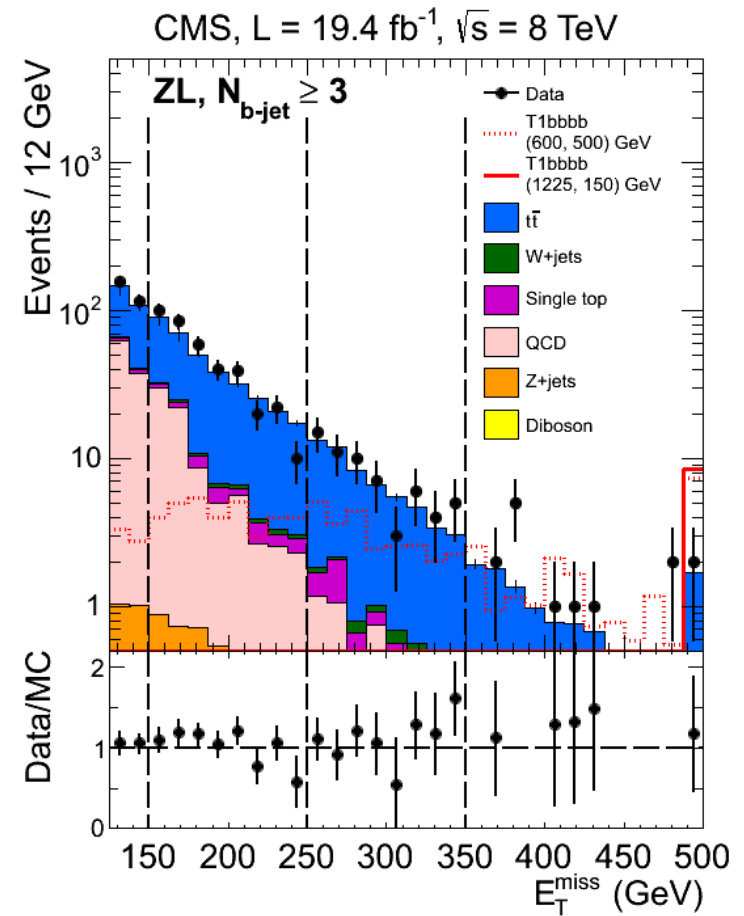
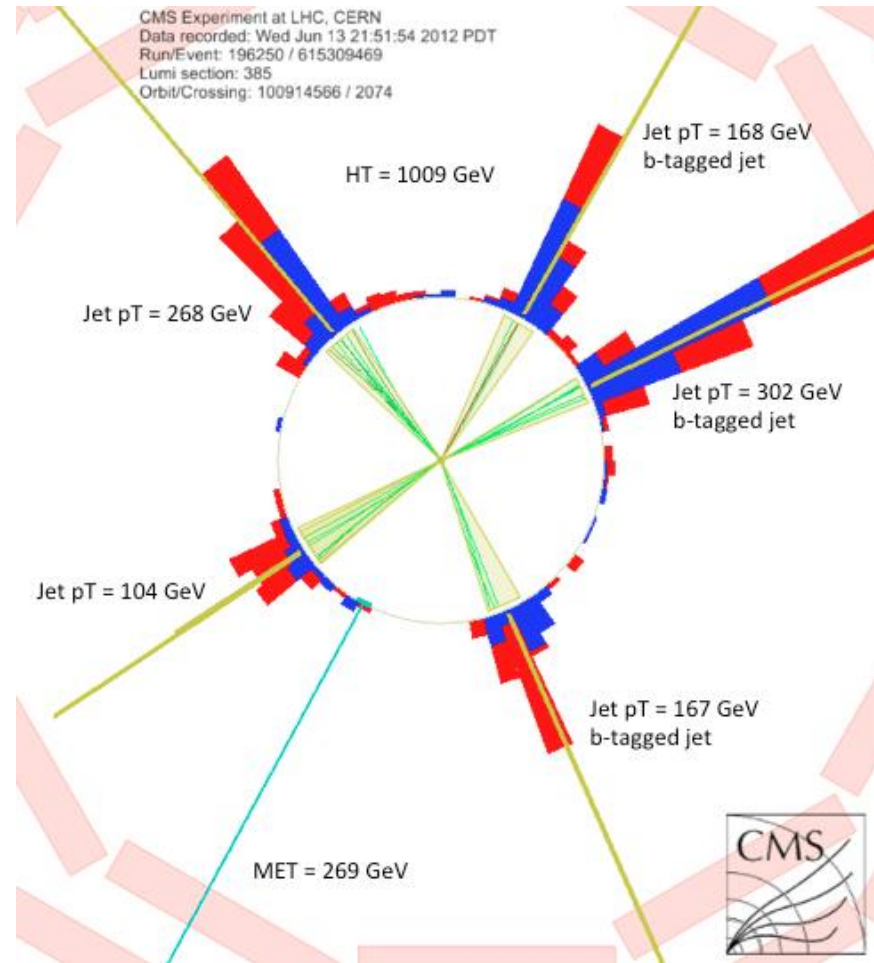
# Kayıp dikey enerji (missing transverse energy)

- 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)



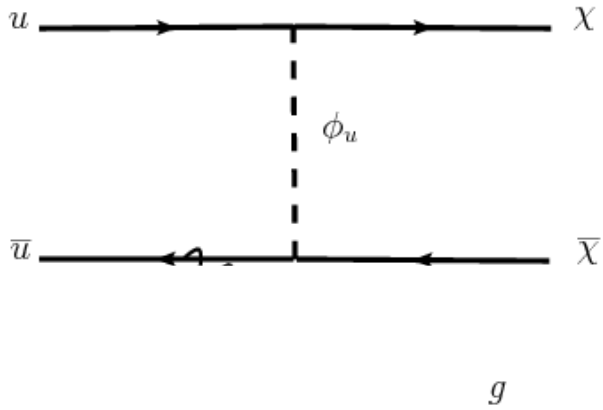
FAKAT – kayıp enerji görmemiz mutlaka kaçak parçacık var demek değildir.

Algıçtaki ölçüm belirsizlikleri de kayıp enerjiye sebep olur.

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

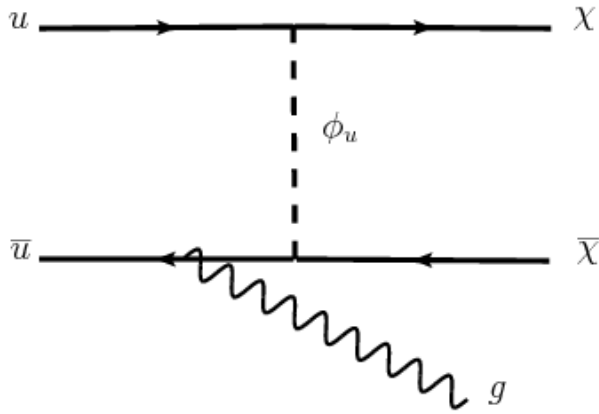
# Doğrudan karanlık madde aramak

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:

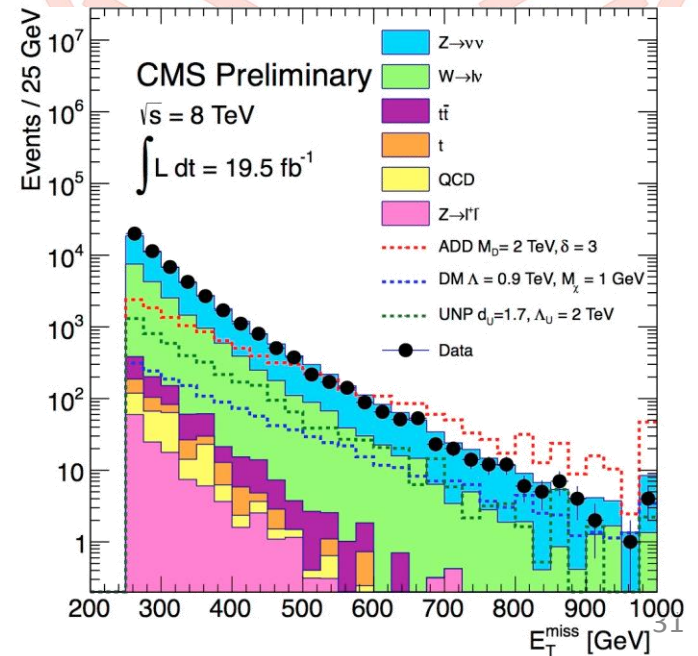
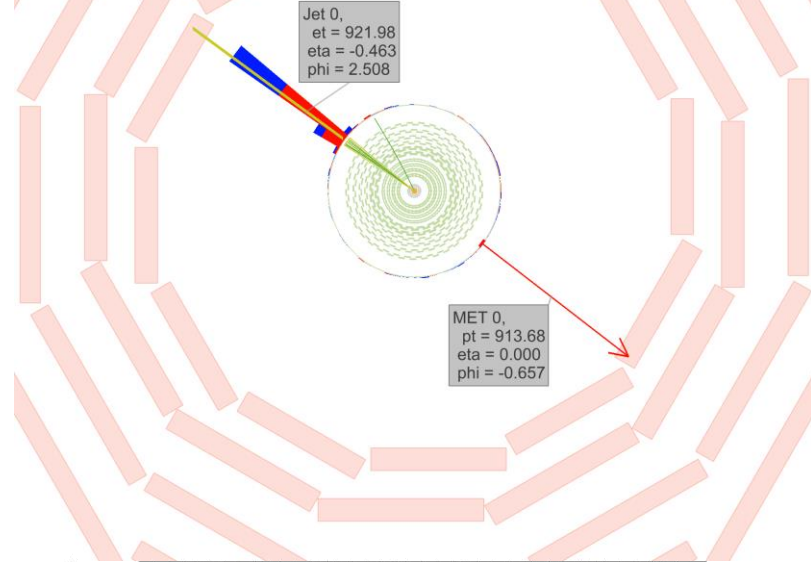


Bu görünmez olayı kuarktan ışınan bir gluon jeti ile görünür yapabiliriz.

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

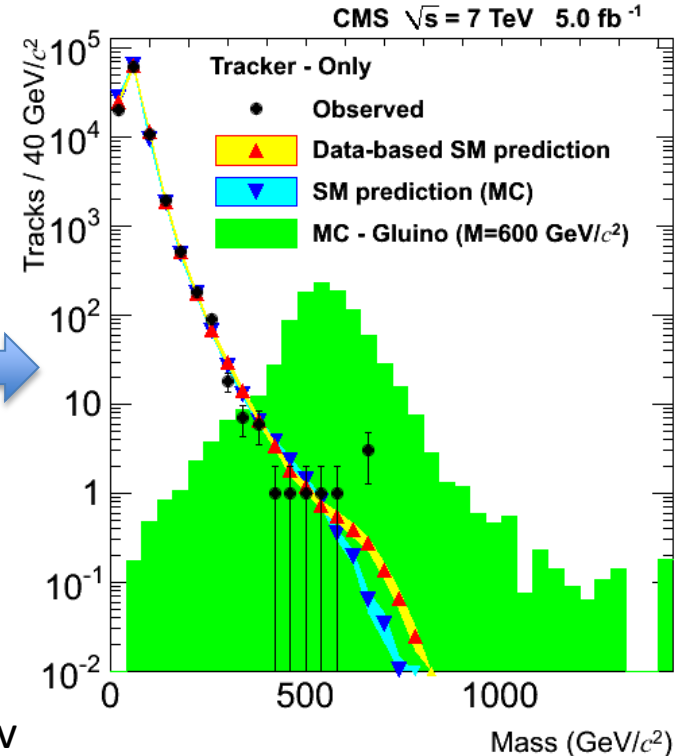
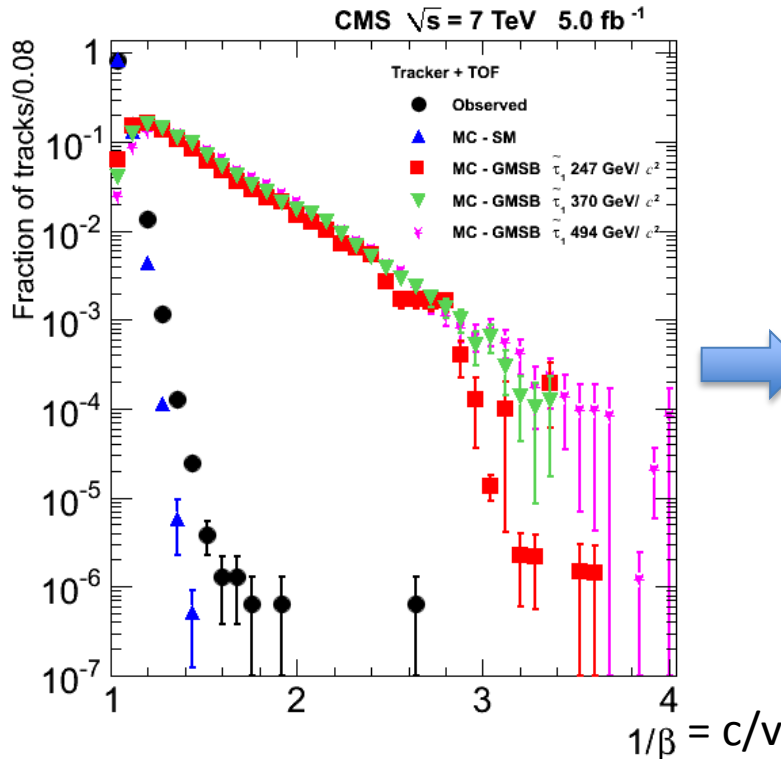


CMS Experiment at LHC, CERN  
Data recorded: Fri Oct 5 20:41:32 2012 CEST  
Run/Event: 204553 / 26729384  
Lumi section: 31



# 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.





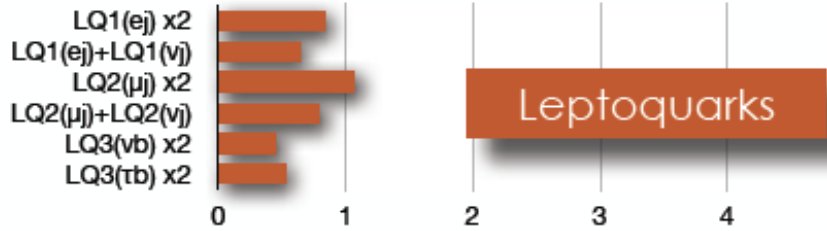
*BHÇ'de SM ötesi parçacıklar  
adına ne bulduk?*



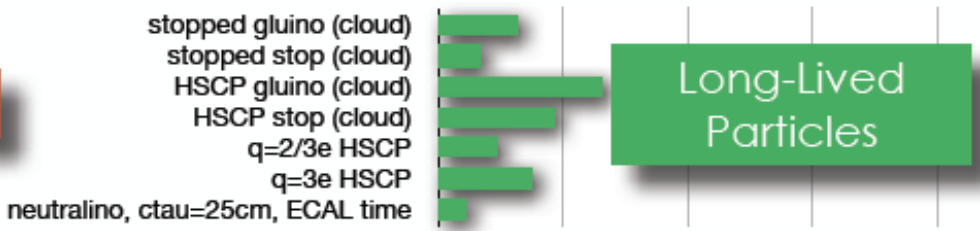
*...AMA*

*yine de ilginç şeyler öğreniyoruz.*

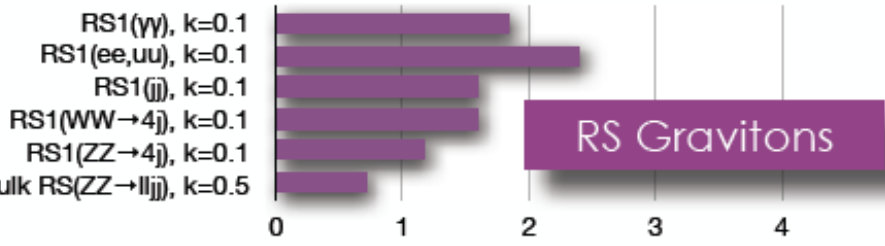
*Yeni fizik sinyalinin yokluğunu kullanarak hangi kuramların daha az olası olduğunu araştırıyoruz.*



### Leptoquarks



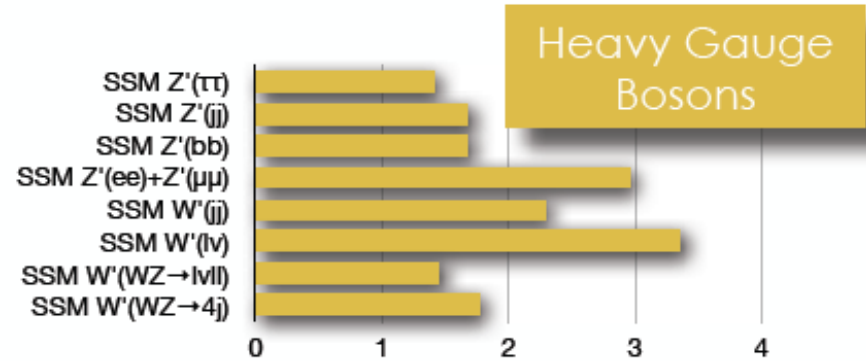
### Long-Lived Particles



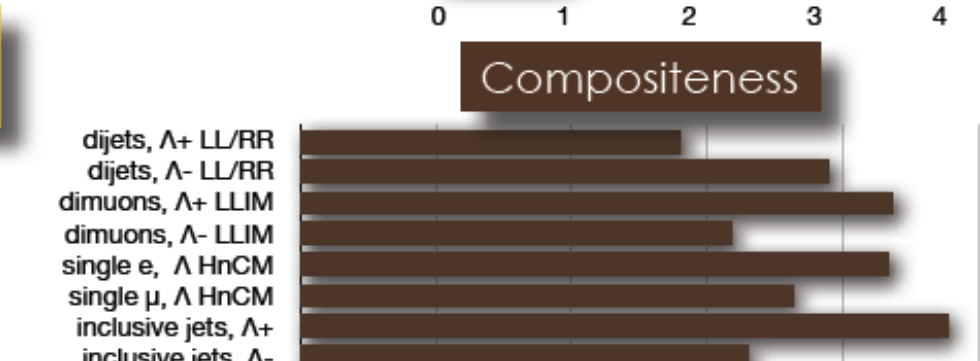
### RS Gravitons



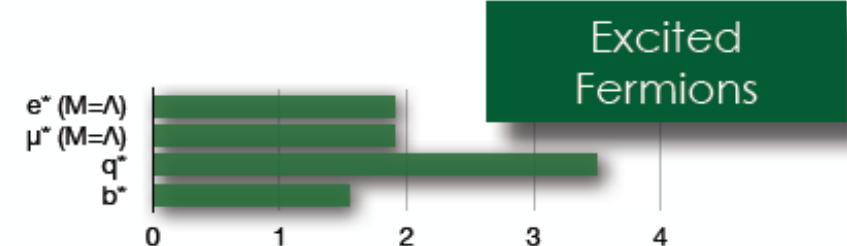
### Dark Matter



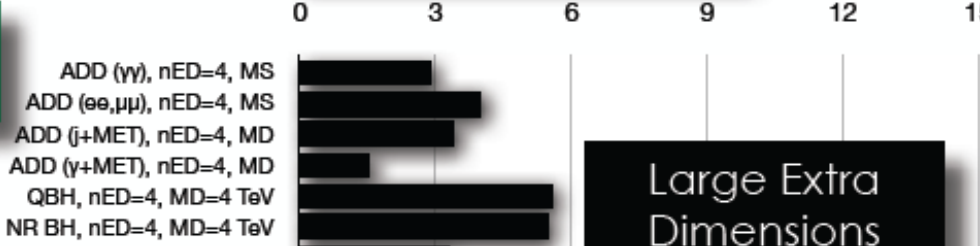
### Heavy Gauge Bosons



### Compositeness



### Excited Fermions



### Large Extra Dimensions



### Multijet Resonances

CMS Preliminary

*...AMA*

*yine de ilginç şeyler öğreniyoruz.*

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

*Ve bu bilginin ışığında 13TeV için yeni analizler tasarlıyoruz.*



**KEEP  
CALM  
AND  
SEARCH  
ON**