



Güncel sorunlar ve çözüm arayışı

G. Ünel

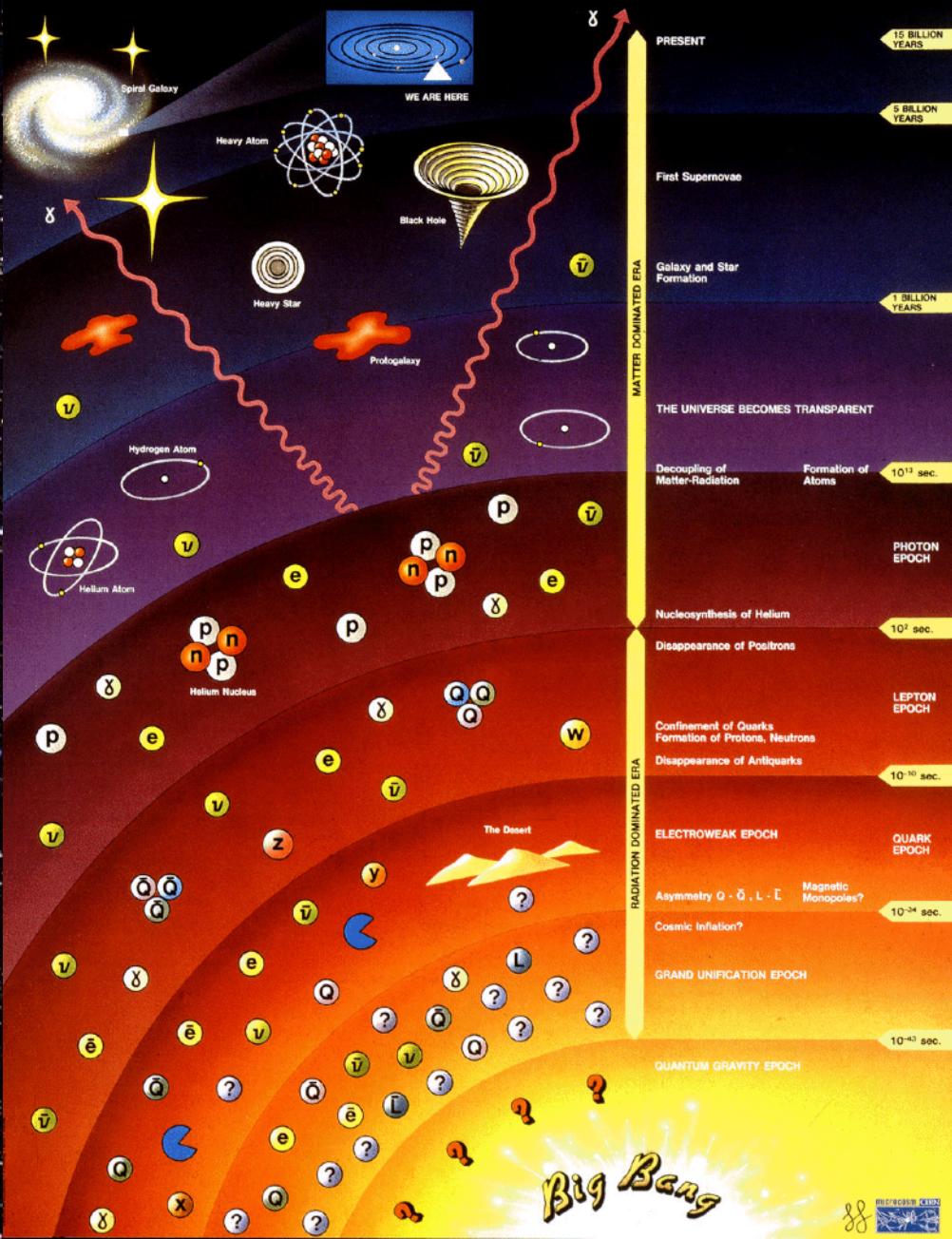
CERN Türk Öğretmenler Çalıştayı 9

Ocak 2019



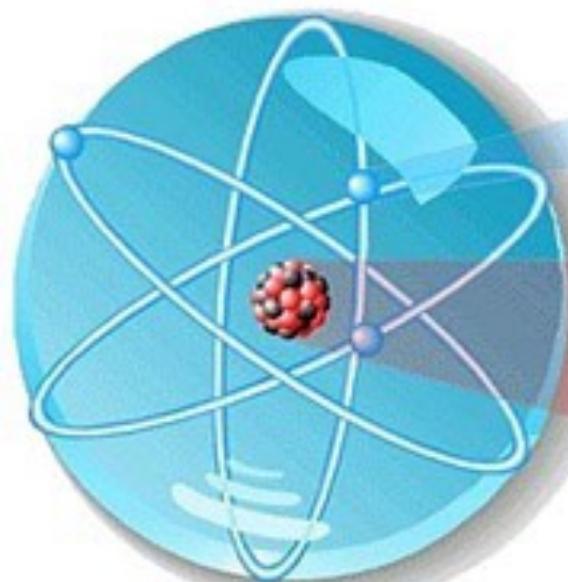
Büyük Patlama'dan hemen sonra evrenimiz bir parçacık kadar
küçüktü.

History of the Universe



... ve evrenimizin gelişimi
parçacıklarla ve onların
etkileşimiyle doğrudan
bağlılıdır.

En büyükleri anlamak için en küçüğünü çalışmak



atom $\sim 10^{-8}$ cm

1808

(Dalton)

A New System of Chemical Philosophy

çekirdek;
 $\sim 10^{-12}$ cm

1911



proton
(neutron)



$\sim 10^{-13}$ cm

1918 (1932)

Temel parçacık

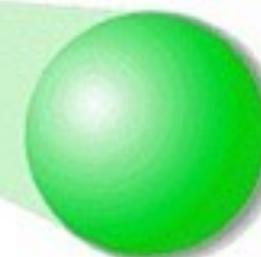
1897

electron
 $<10^{-16}$ cm

electron

$<10^{-16}$ cm

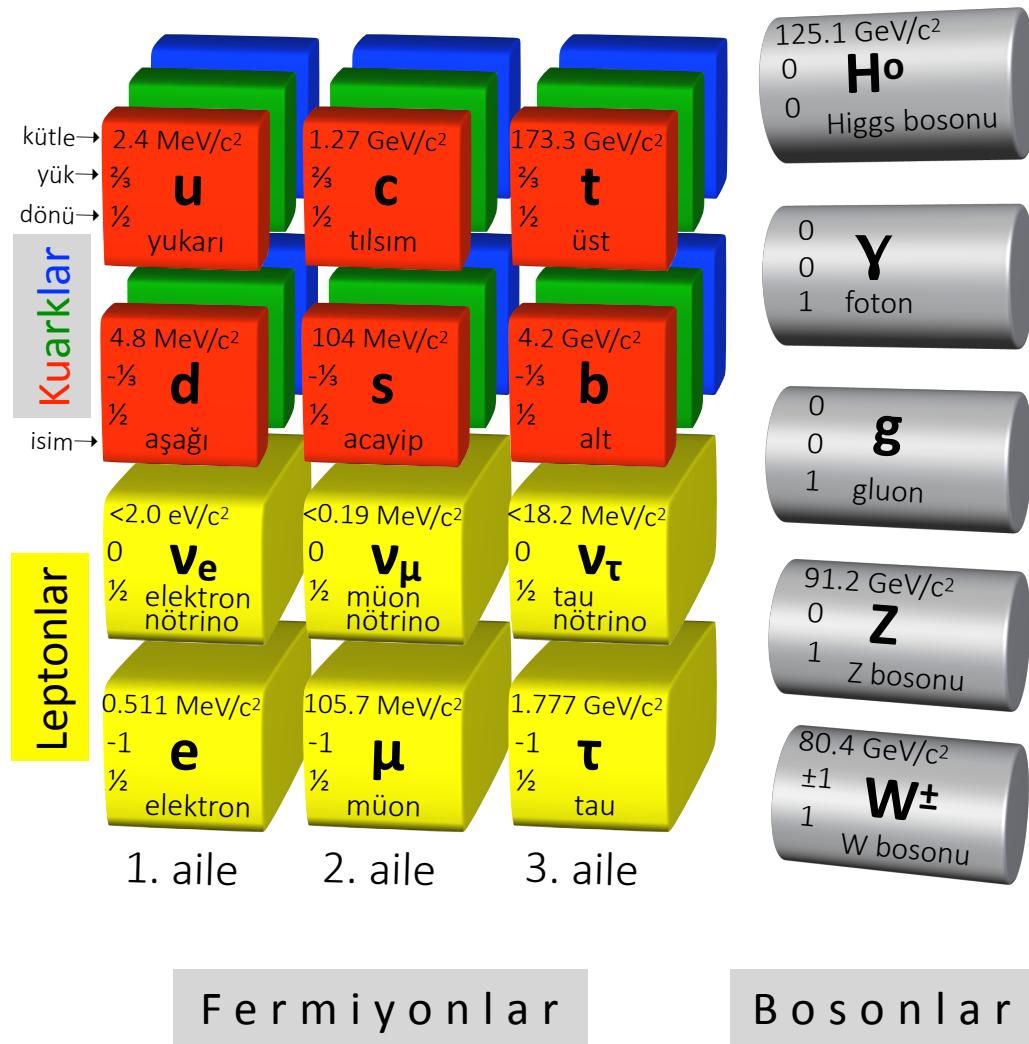
quark
 $<10^{-16}$ cm



1964

Temel parçacık

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

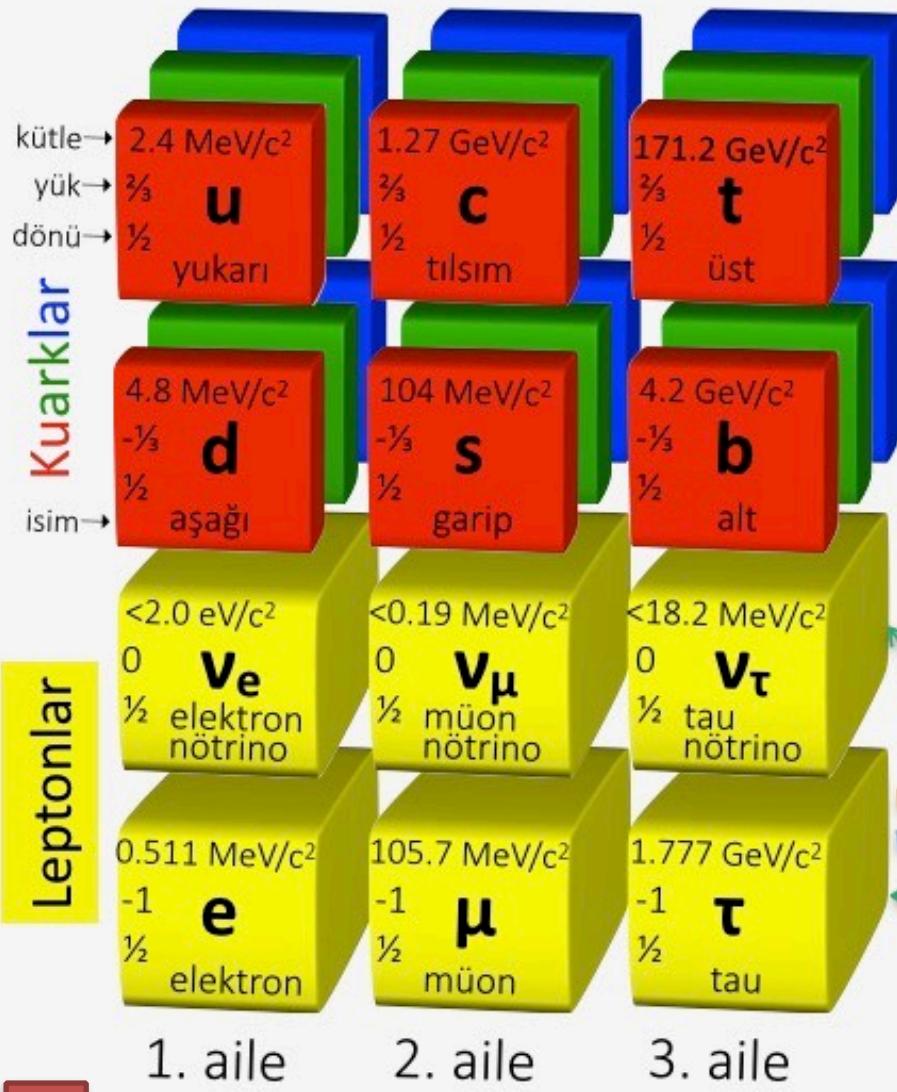


- Her kuarktan **3 renk**.
- Her parçacık için bir **karşıparçacık**
- Etkileşimler **kuvvet taşıyıcı** parçacıklarla yönlendirilirler
- Toplamda **60 parçacık** (LHC öncesinde)

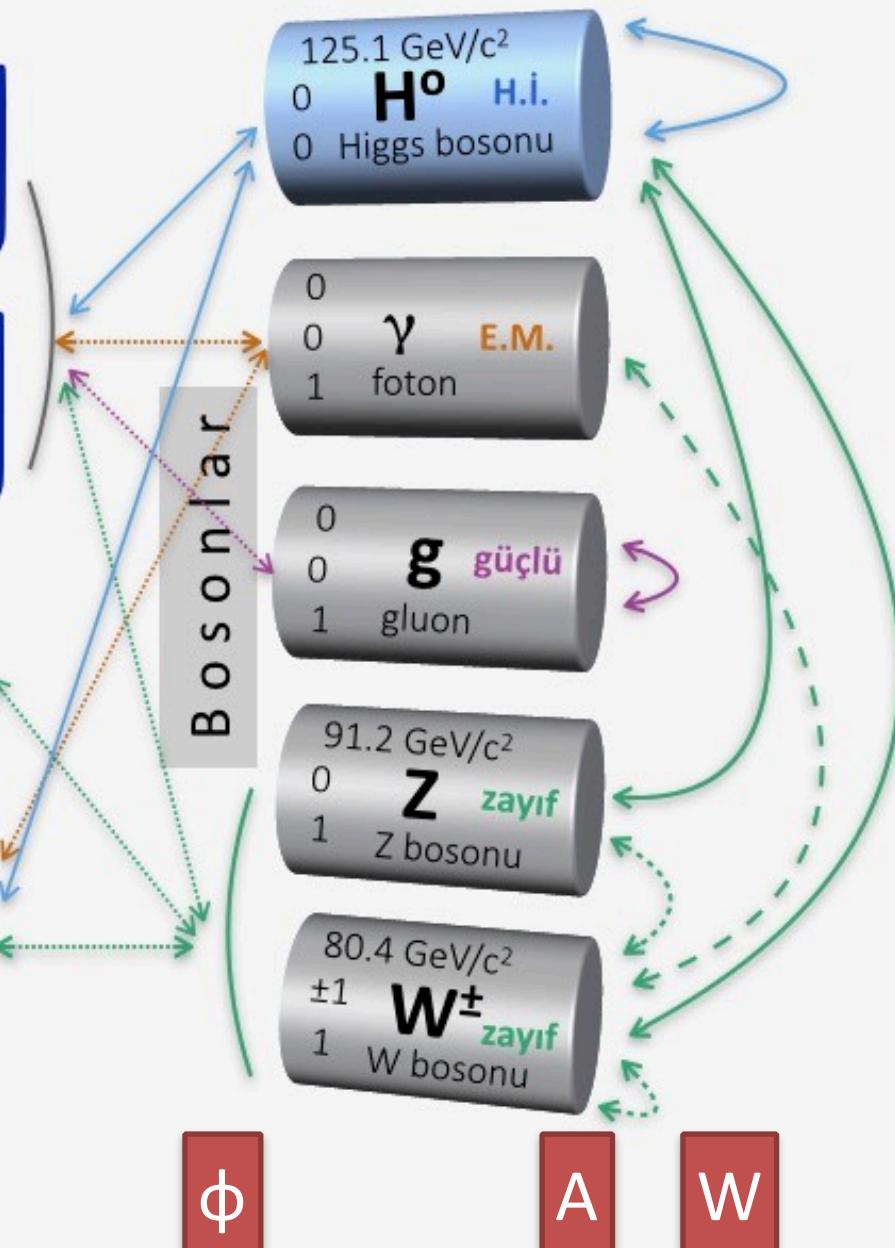
Standart Model **doğrudur**, ancak **eksikleri vardır**.

Fermiyonlar

Maddeyi oluşturan parçacıklar



Etkileşim aracı parçacıkları



SM içeriği

- ▶ *Fermionlar*: madde parçacığı
 - Kuvarklar & Leptonlar

ψ

- ▶ *Ayar kümesi yapısı*
 - ayar bosonları: kuvvet taşıyıcıları

SU(3) × SU(2) × U(1)

ΦψΨ

- ▶ *EZ Bakışım Kırılması*
 - Higgs bosonu ile kütle kazanımı

- ▶ 3+1 uzay-zaman



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

Ya da SMin eksiklerinden çıkışip yeni kuramlar bularak onların izlerini araştıracağız.

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



Dünya düzdür.



Dünya yuvarlaktır.

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



SM içeriği

► *Fermionlar*: madde parçacığı

- Kuvarklar & Leptonlar

► *Ayar kümesi yapısı*

- ayar bosonları: kuvvet taşıyıcılar

► *EZ Bakışım Kırılması*

- Higgs bosonu ile kütle kazanımı

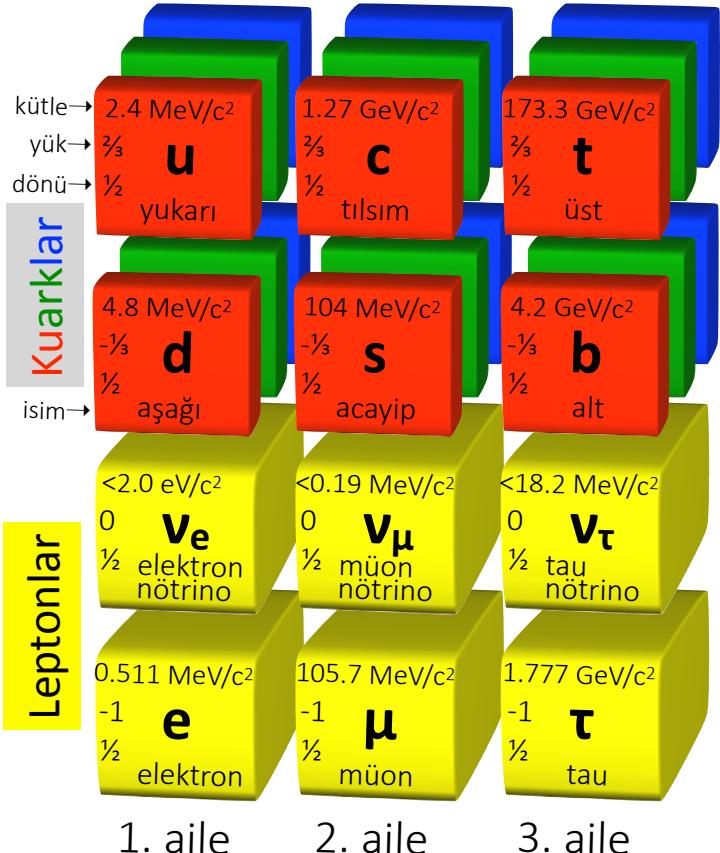
► *3+1 uzay-zaman*

► *SM en son kuram olamaz:*

- Hierarchy sorunu: $\delta H \sim M_H$
- EZ ve Güçlü kuvvetler birleşmiyor
- Gelişigüzel fermion kütlegeleri & karışıntımları
- Gelişigüzel aile sayısı
- Bilinmeyen baryon çıkış kaynağı

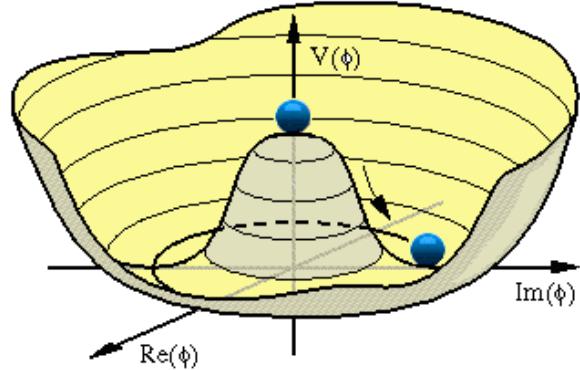
SM eksikleri: Kütle sorunu

e: 0.5 t: 173300 MeV



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

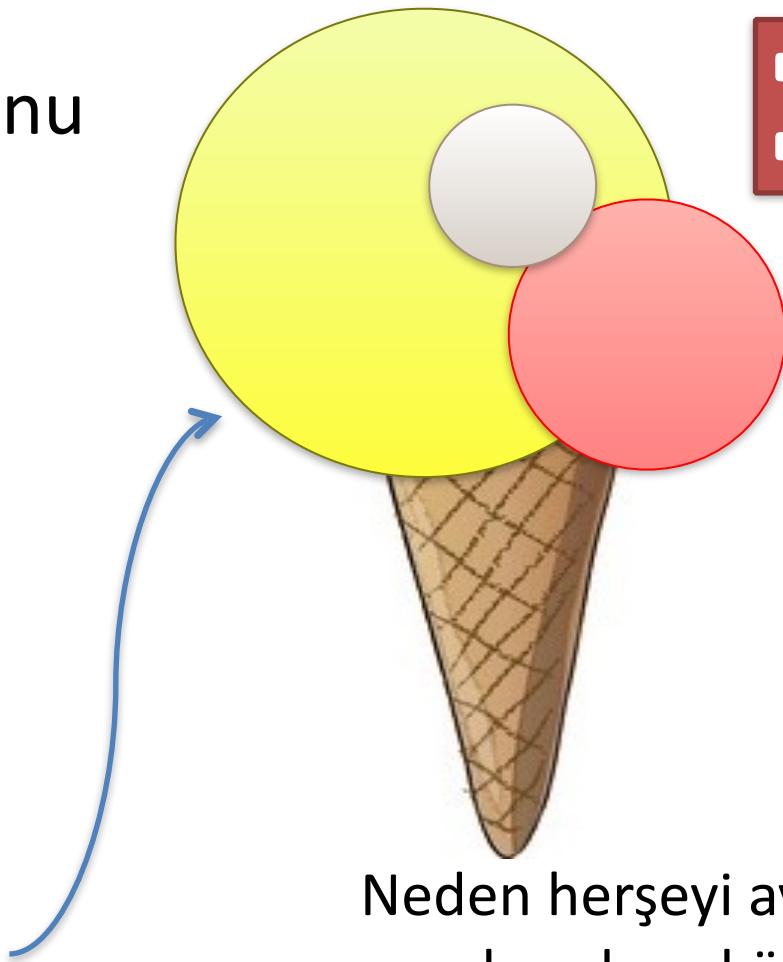
Çözüm:



SM eksikleri: Çeşni sorunu



Kuarklar	kütle → 2.4 MeV/c ²	yük → $\frac{2}{3}$	dönu → $\frac{1}{2}$	isim → u
	yük → $\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	c
	dönu → $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	tilsim
	isim → $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	t
	2.4 MeV/c ²	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$	üst
Leptonlar	kütle → 4.8 MeV/c ²	yük → $-\frac{1}{3}$	dönu → $\frac{1}{2}$	isim → d
	yük → $-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	s
	dönu → $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	açayıp
	isim → $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	b
	4.8 MeV/c ²	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	alt
	<2.0 eV/c ²	0	$\frac{1}{2}$	ν_e
	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	elektron nötrino
	<0.19 MeV/c ² <th>0</th> <th>$\frac{1}{2}$</th> <th>ν_μ</th>	0	$\frac{1}{2}$	ν_μ
		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	müon nötrino
	<18.2 MeV/c ² <th>0</th> <th>$\frac{1}{2}$</th> <th>ν_τ</th>	0	$\frac{1}{2}$	ν_τ
		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	tau nötrino
	0.511 MeV/c ²	-1	$\frac{1}{2}$	e
	0.511 MeV/c ²	-1	$\frac{1}{2}$	elektron
	105.7 MeV/c ²	-1	$\frac{1}{2}$	μ
	105.7 MeV/c ²	-1	$\frac{1}{2}$	müon
	1.777 GeV/c ²	-1	$\frac{1}{2}$	τ
	1.777 GeV/c ²	-1	$\frac{1}{2}$	tau
1. aile	2. aile	3. aile		



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

SM eksikleri: Kuvvetler farklılığı

SU(3) \times SU(2) \times U(1)

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



Elektromanyetik
Zayıf
Güçlü

ElektroZayıf

A blue arrow points from 'Elektromanyetik Zayıf Güçlü' to 'ElektroZayıf'.

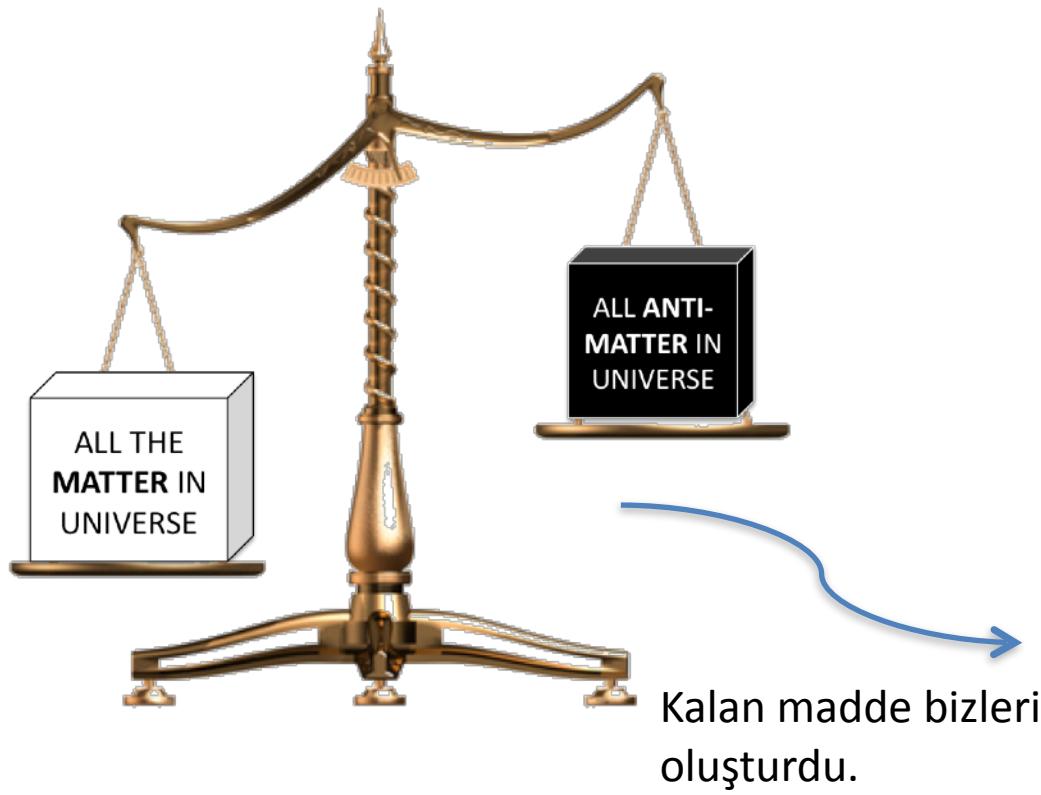


Kütleçekim
*elektromanyetizmadan
10⁴⁰ kadar gücsüz.*

SM eksikleri: Madde-karşımadde asimetrisi

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

Neden?



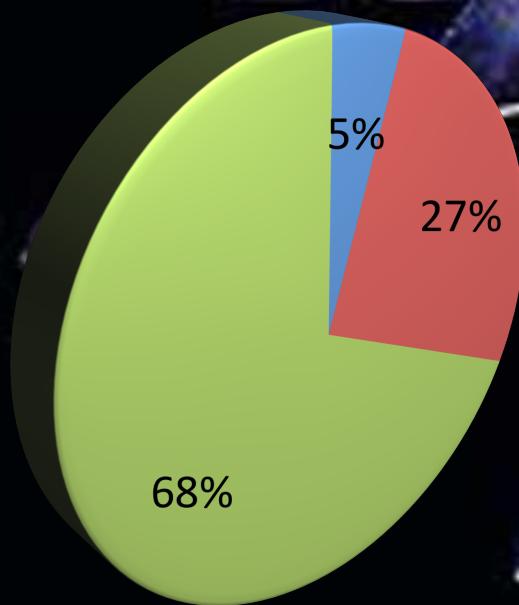
SM eksikleri: Karanlık madde ve kararlı enerji nedir? Neden yapılmışlardır?

Evrenin içeriği:

%4.9 görünen madde

%26.8 kararlı madde

%68.3 kararlı enerji

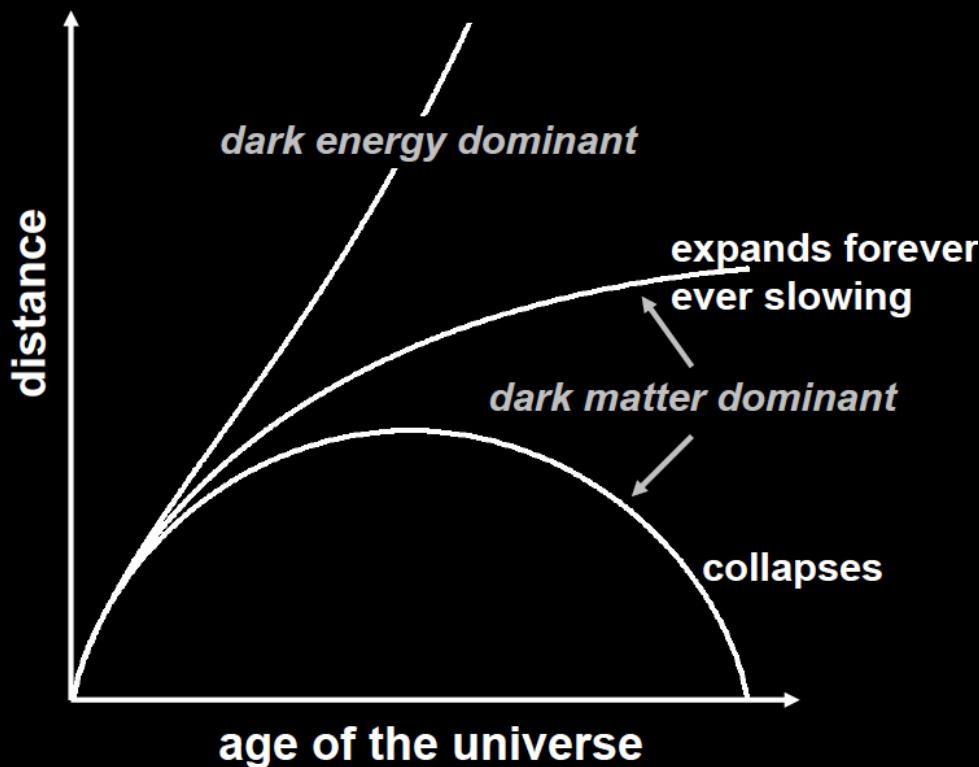


SM eksikleri: Karanlık madde



Karanlık maddenin varoluğuna 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 şunları öngörüyor:
 - yeni parçacıkların varlığını
 - bilinen parçacıkların yeni davranışlarını
 - Öngörülen parçacıkları BHÇ verilerinde arıyoruz.

Sorunlar ve Çözüm adayları

BBK **Çeşni sorunu** Süpersimetri

BBK **3 kuvvetin birleşmesi**

EkBoyutlar **Yerçekiminin güçsüzlüğü**

SicimKuramı **4 kuvvetin birleşmesi** Süpersimetri

BBK **madde-karşıt madde asimetrisi** Süpersimetri

BBK **karanlık madde sorunu** Süpersimetri

karanlık enerji sorunu

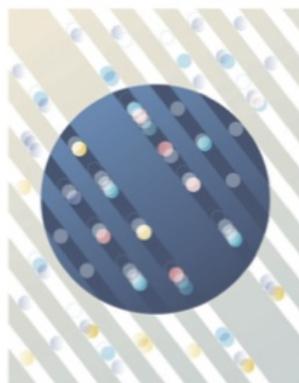
P5'den 5 ayaklı plan

particle physics project prioritization panel

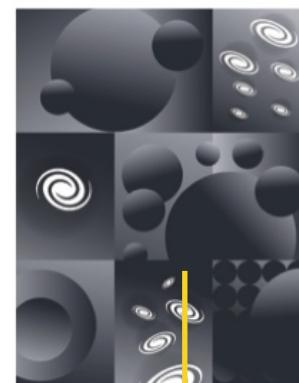
1. Higgs bosonunu yeni bir keşif gereci olarak kullanmak
2. Nötrino kütlesinin ardındaki fiziğe bakmak
3. Karanlık maddenin fiziğine bakmak
4. Karanlık enerji ve şişmeyi (enflasyon) anlamak
5. Yeni parçacıkları, etkileşimleri ve fizik ilkelerini bulmak



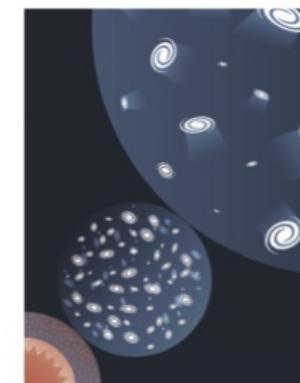
Higgs boson



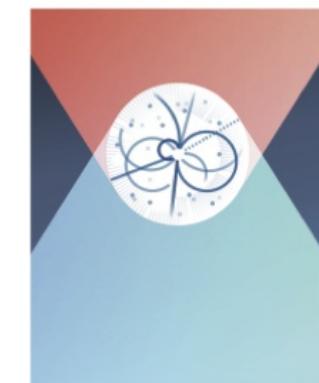
Neutrino mass



Dark matter



Cosmic acceleration



Explore the unknown



3-cepheli bilim savaşı



Enerji Cephesi;

Kütlenin Kökeni

Madde/Anti-Madde
Asimetrisi

Karanlık Madde

Yeni Fizik

Evrenin Kökeni

Kuvvetlerin Birleşmesi

Standard Model Ötesi

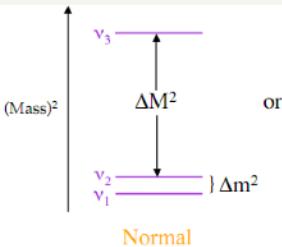
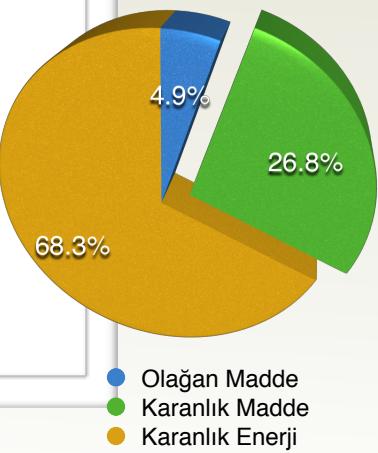
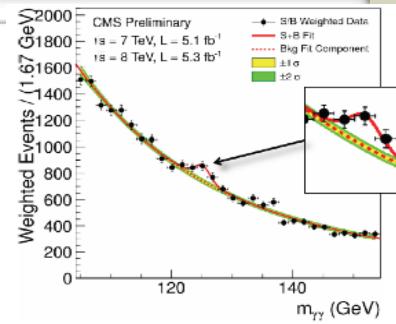
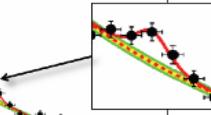
Nötrino Fiziği

Proton Bozunumu

Karanlık Enerji

Kozmik Parçacıklar

Yoldaşlık Cephesi



Önce buraya bakalım...

SM'den SM ötesine

4.Aile

► Fermionlar: madde parçacığı

- Kuvarklar & Leptonlar

yeni kuvarklar

yeni leptonlar

lepto-kuvarklar

yeni bileşenler

bileşik modeller

BBK

► Ayar kümesi yapısı

- ayar bosonları: kuvvet taşıyıcılar

Ayar Kümesi K

yeni ayar bosonları

Küçük Higgs

► EZ Bakışım Kırılması

- Higgs bosonu ile kütleyi kazanımı

2HÇM

yeni sayılar

yeni EZBK yöntemleri

Dinamik Bakışım Kırılması

Teknirenk

► 3+1 uzay-zaman

yeni boyutlar

RS modelleri

ADD modelleri

SM'den SM ötesine

4. Aile

- ▶ Fermionlar: madde parçacığı
 - Kuvarklar & Leptonlar

yeni kuvarklar

yeni leptonlar

lepto-kuvarklar

yeni bileşenler

bileşik modeller

BBK

Ayar Kümesi K

Küçük Higgs

2HÇM

- ▶ Ayar kümesi yapısı
 - ayar bosonları: kuvvet taşıyıcılar

yeni ayar bosonları

yeni sayılar

yeni EZBK yöntemleri

- ▶ EZ Bakışım Kırılması
 - Higgs bosonu ile kütle kazanımı

Dinamik Bakışım Kırılması

Teknirenk

- ▶ 3+1 uzay-zaman

yeni boyutlar

RS modelleri

ADD modelleri

SM'den SM ötesine

4. Aile

- ▶ Fermionlar: madde parçacığı
 - Kuvarklar & Leptonlar

yeni kuvarklar

yeni leptonlar

lepto-kuvarklar

yeni bileşenler

bileşik modeller

BBK

Ayar Kümesi K

yeni ayar bosonları

Küçük Higgs

2HÇM

- ▶ Ayar kümesi yapısı
 - ayar bosonlar: kuvvet taşıyıcılar

- ▶ EZ Bakışım Kırılması
 - Higgs bosonu ile kütle kazanımı

yeni sayılar

yeni EZBK yöntemleri

Dinamik Bakışım Kırılması

Teknirenk

- ▶ 3+1 uzay-zaman

yeni boyutlar

RS modelleri

ADD modelleri

SM'den SM ötesine

4. Aile

- ▶ Fermionlar: madde parçacığı
 - Kuvarklar & Leptonlar

yeni kuvarklar

yeni leptonlar

lepto-kuvarklar

yeni bileşenler

bileşik modeller

BBK

Ayar Kümesi K

yeni ayar bosonları

Küçük Higgs

2HÇM

- ▶ EZ Bakışım Kırılması

- Higgs bosonu ile kütleyi kazanımı

yeni sayılar

yeni EZBK yöntemleri

Dinamik Bakışım Kırılması

Teknirenk

- ▶ 3+1 uzay-zaman

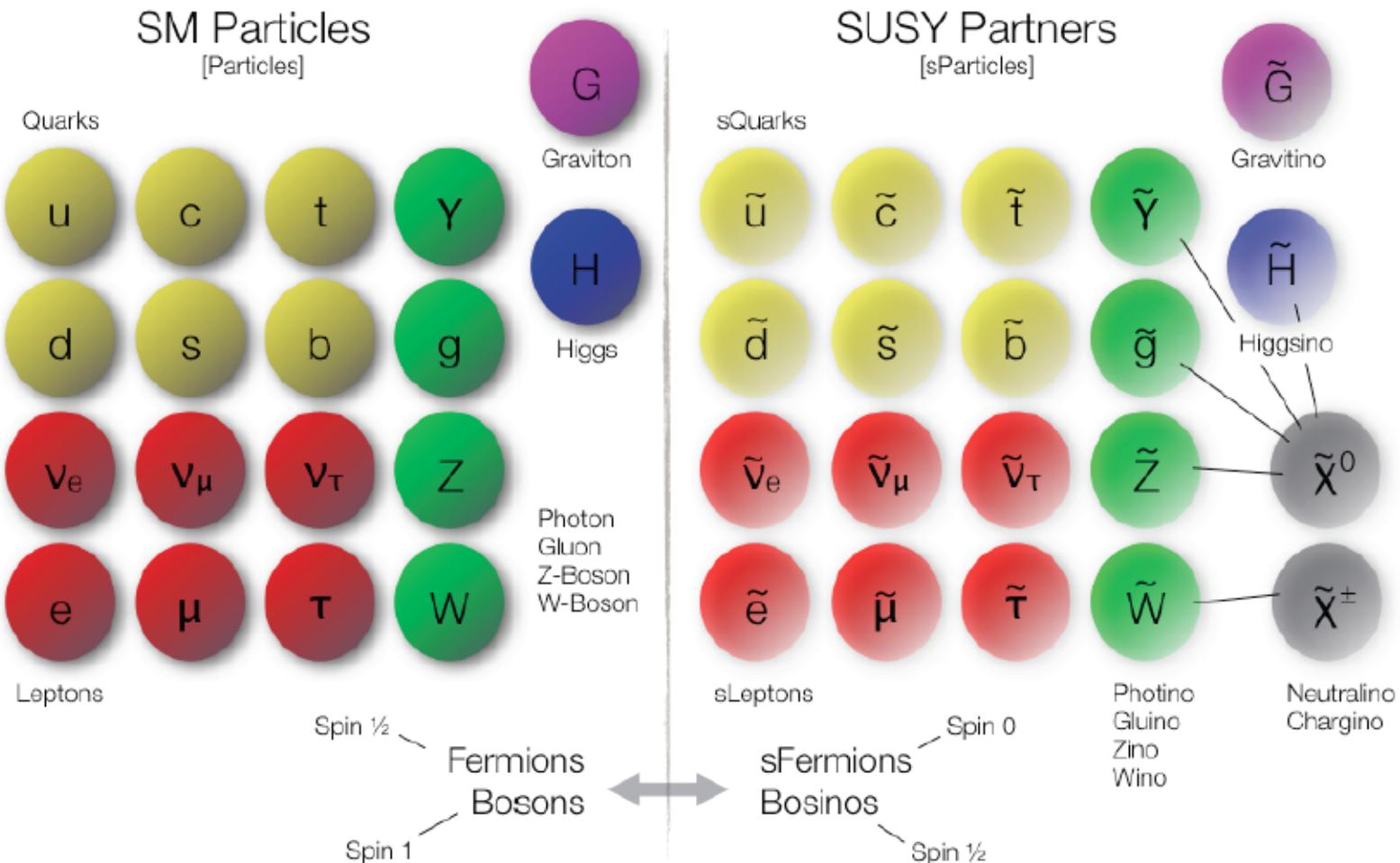
yeni boyutlar

RS modelleri

ADD modelleri

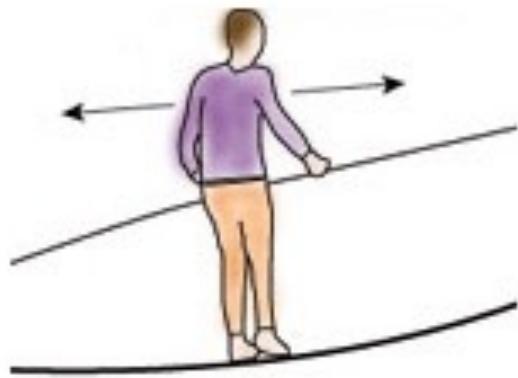
Aday kuram: Süpersimetri

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(über)parçacık bulunduğu söyler.

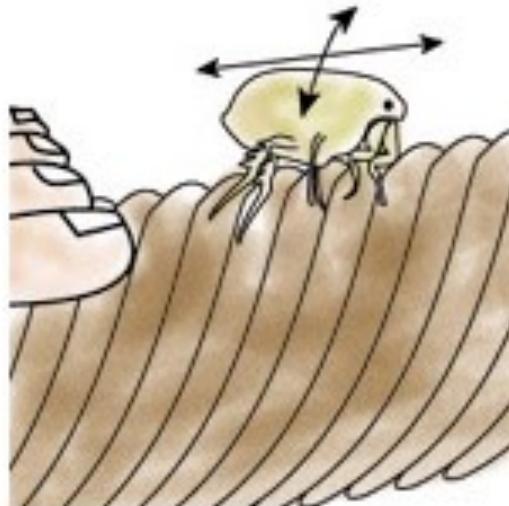


Aday kuram: Ek boyutlar

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

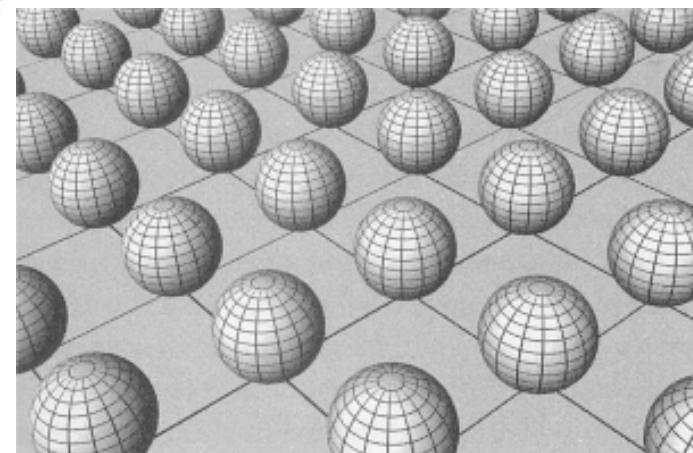


An acrobat can only move in one dimension along a rope..



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

Mesela ek boyutların içerisine girildiğinde kütleçekim kuvveti artar.

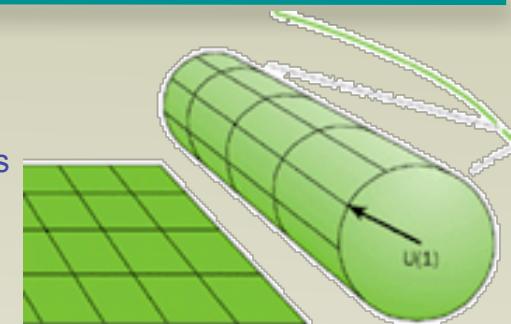


bazı EB kavramları

► Geniş Ek Boyutlar (GEB, ADD):

- tıkitırılmış, düz
- $M_{Pl}^2 \sim R_n M_S^{2+n}$, M_S : sicim ölçüği
- Graviton yığında (bulk)

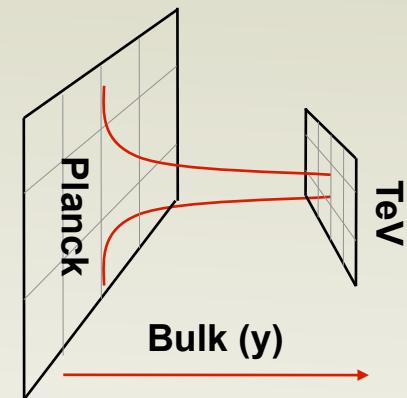
Arkani-Hamed, Dimopoulos, Dvali Phys Lett B429 (98)



► TeV-1 Ek Boyutlar (DDG):

- M_T : tıkitırılmışma ölçüği
- Ayar & Higgs bosonlar da yığında

Dienes, Dudas, Gherghetta
Nucl Phys B537 (99)



► Bükük Ek Boyutlar (RS):

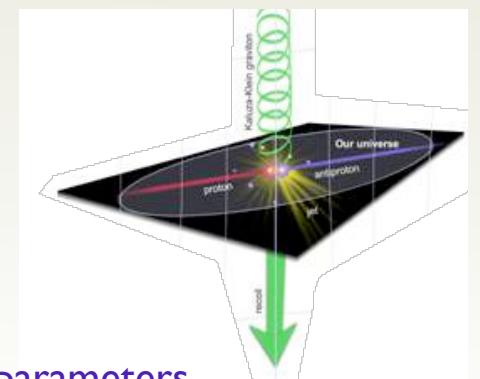
- 2-zarlı çözüm : RS tür1
- k/M_{Pl} , k : eğrilme, bükülme çarpanı
- dar 2dönlü tınlAŞımlar: Graviton

Randall, Sundrum
Phys Rev Lett 83 (99)

► Evrensel Ek Boyutlar (UED):

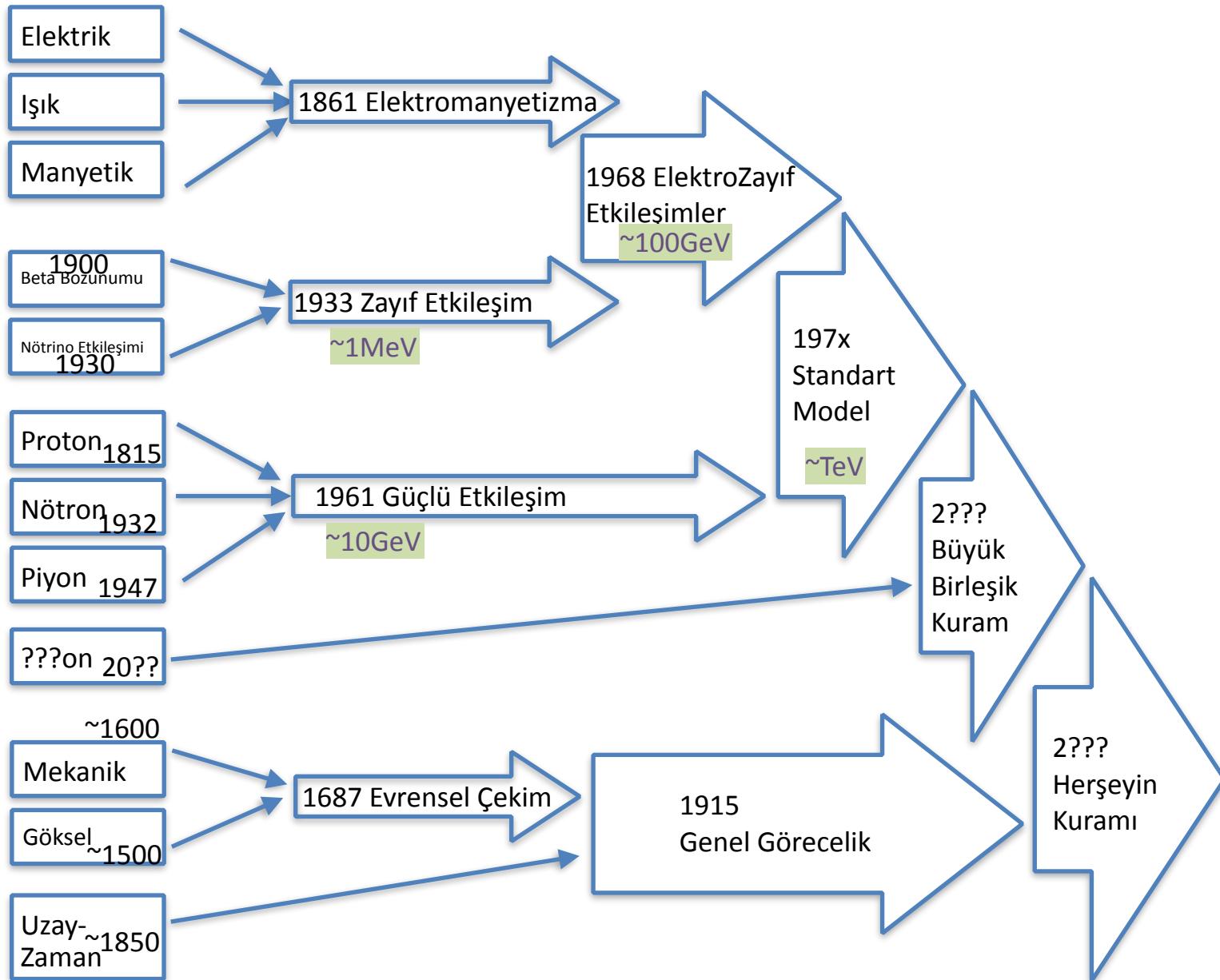
- KK-sayısı korunumu
- M_T ve kesim ölçüği Λ
- Bütün SM parçıklar yığında
- Bir çok KK spectra (ÜSBA bekłentileri gibi)

Appelquist, Cheng, Dobrescu
Phys. Rev. D 64 (01)

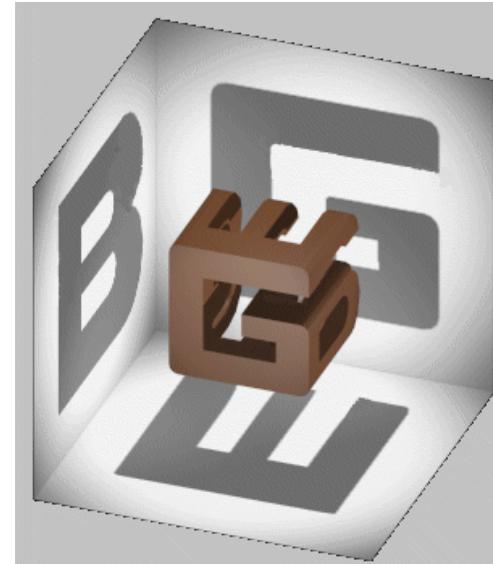


G^{ab}, n, M_C, R : model parameters

F i z i k t e K u r a m l a r i n B i r l e ş m e s i



Aday kuram: Büyük Birleşme Kuramı



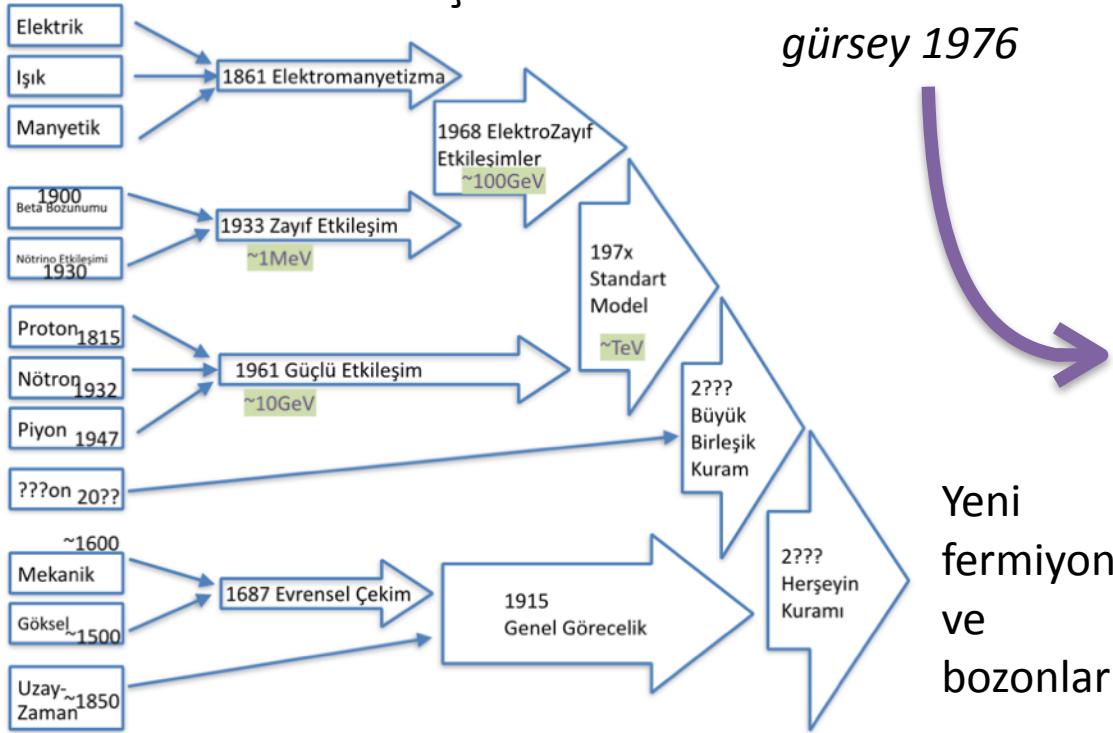
Gözlemlediğimiz ElektroZayıf ve Güçlü kuvvetler aynı kuvvetin farklı bakış açılarına göre izdüşümleri olabilir.

SM, daha yüksek enerjide ortaya çıkacak olan büyük bir kuramın düşük enerjideki hali mi?

Lepton sayısını 4 QCD rengi olarak düşünebilir miyiz?

patti - salam 1975

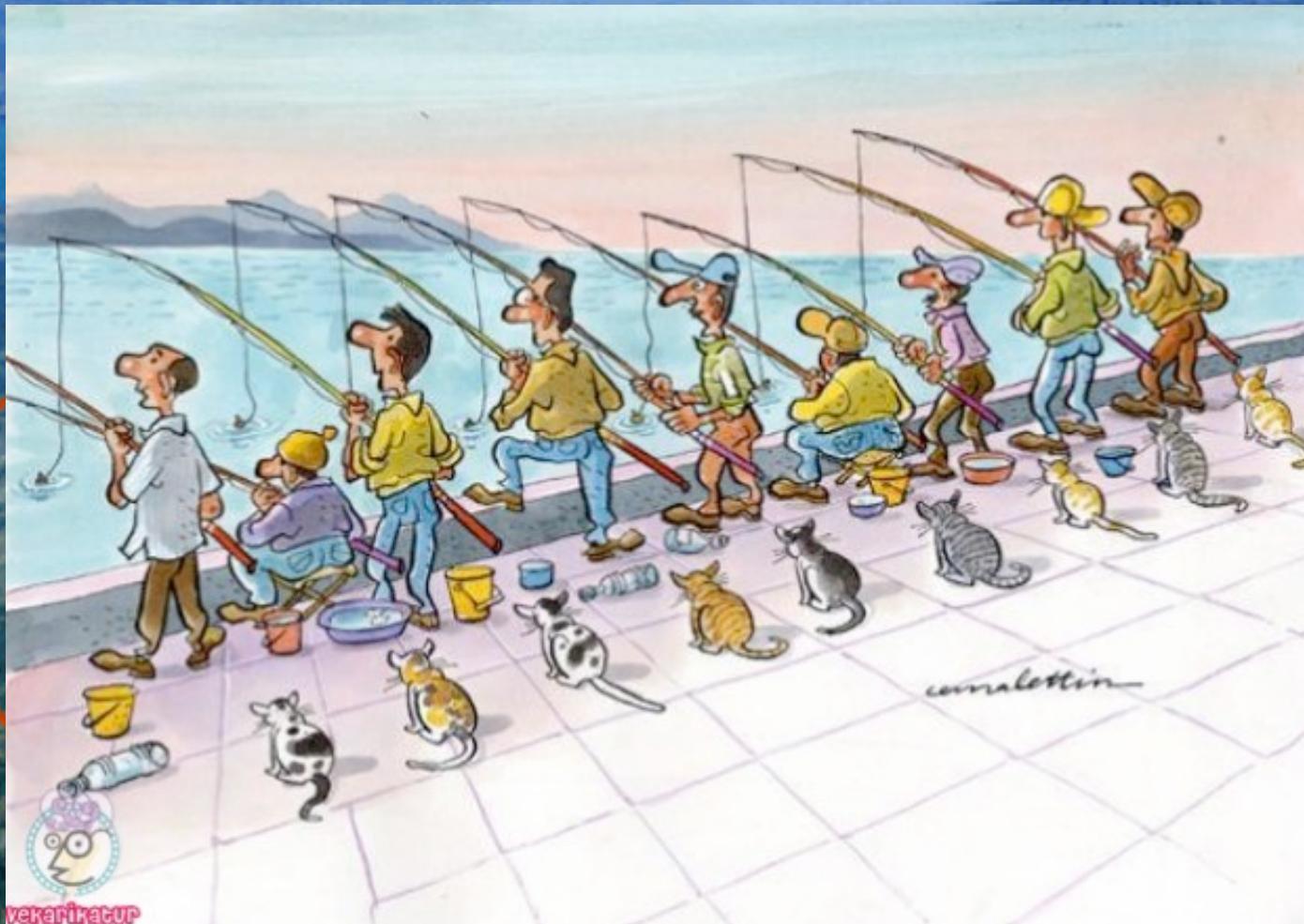
Bu kuram E6 birleşimi olabilir mi?



<u>SO(10)</u>	<u>SU(5)</u>	<u>Color</u>	<u>T_{3L}</u>	<u>$Y/2$</u>	<u>Q</u>
10	$Q \equiv (u_d)_L$	3	$\begin{pmatrix} 1/2 \\ -1/2 \end{pmatrix}$	1/6	$\begin{pmatrix} 2/3 \\ 1/3 \end{pmatrix}$
	u_L^c	$\bar{3}$	0	-2/3	-2/3
	e_L^c	1	0	1	1
$\overline{5}$	$L = (\nu_e)_L$	1	$\begin{pmatrix} 1/2 \\ -1/2 \end{pmatrix}$	-2/3	-2/3
	d_L^c	$\bar{3}$	0	1/3	1/3
	ν_L^c	1	0	0	0
1					
$\overline{5}$	$H \equiv \begin{pmatrix} N \\ E \end{pmatrix}_L$	1	$\begin{pmatrix} 1/2 \\ -1/2 \end{pmatrix}$	-1/2	$\begin{pmatrix} 0 \\ -1 \end{pmatrix}$
	h_L^c	3	0	1/3	1/3
	$H^c \equiv \begin{pmatrix} E \\ N \end{pmatrix}_L^c$	1	$\begin{pmatrix} 1/2 \\ -1/2 \end{pmatrix}$	1/2	$\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$
$\overline{5}$	h_L	3	0	-1/3	-1/3
1	1	S_L^c	1	0	0

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

Bir çok olası adaydan hangisi doğru?

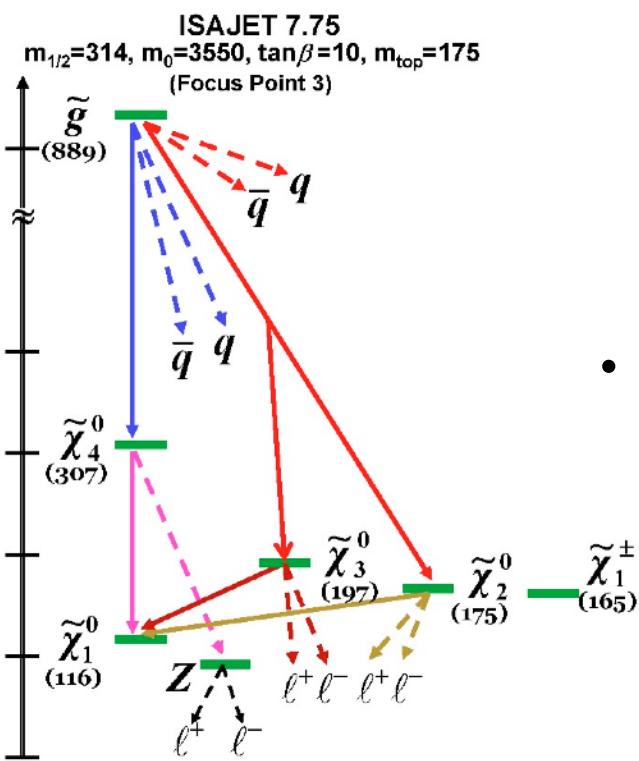


LHC'de yeni fizik nasıl ararız?

- **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 parçasığı tanıtmaya çalışırız.**
 - **Eğer fark çıkmazsa veride fazlalık öngören yeni kuramları dıştalarız.**

Süpersimetri araştırmaları

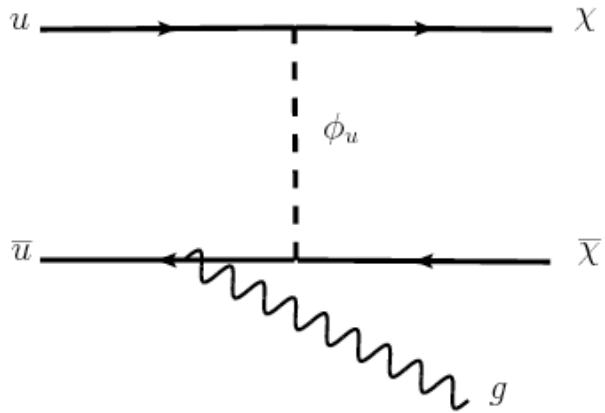
- SUSY 100ün üzerinde serbest parametresi olan bir kuramdır. Çok farklı şekillerde ortaya çıkabilir: farklı süperparçacık kütleleri, farklı tesir kesitleri, farklı dallanma oranları...
- Böylece SUSY BHÇ'de çok çeşitli şekillerde görülebilir.



- Ağır sparçacıklar daha hafif sparçacıklara + SM parçacıklara bozunabilir ve çok miktarda ve çeşitlilikte parçacıklar görülebilir.
 - Çok jetli, çok b kuarklı, çok t kuarklı, çok leptonlu son durumlarının herhangi birinde SUSY izlerine rastlayabiliriz.
- Klasik SUSY'nin 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 çalışızı.

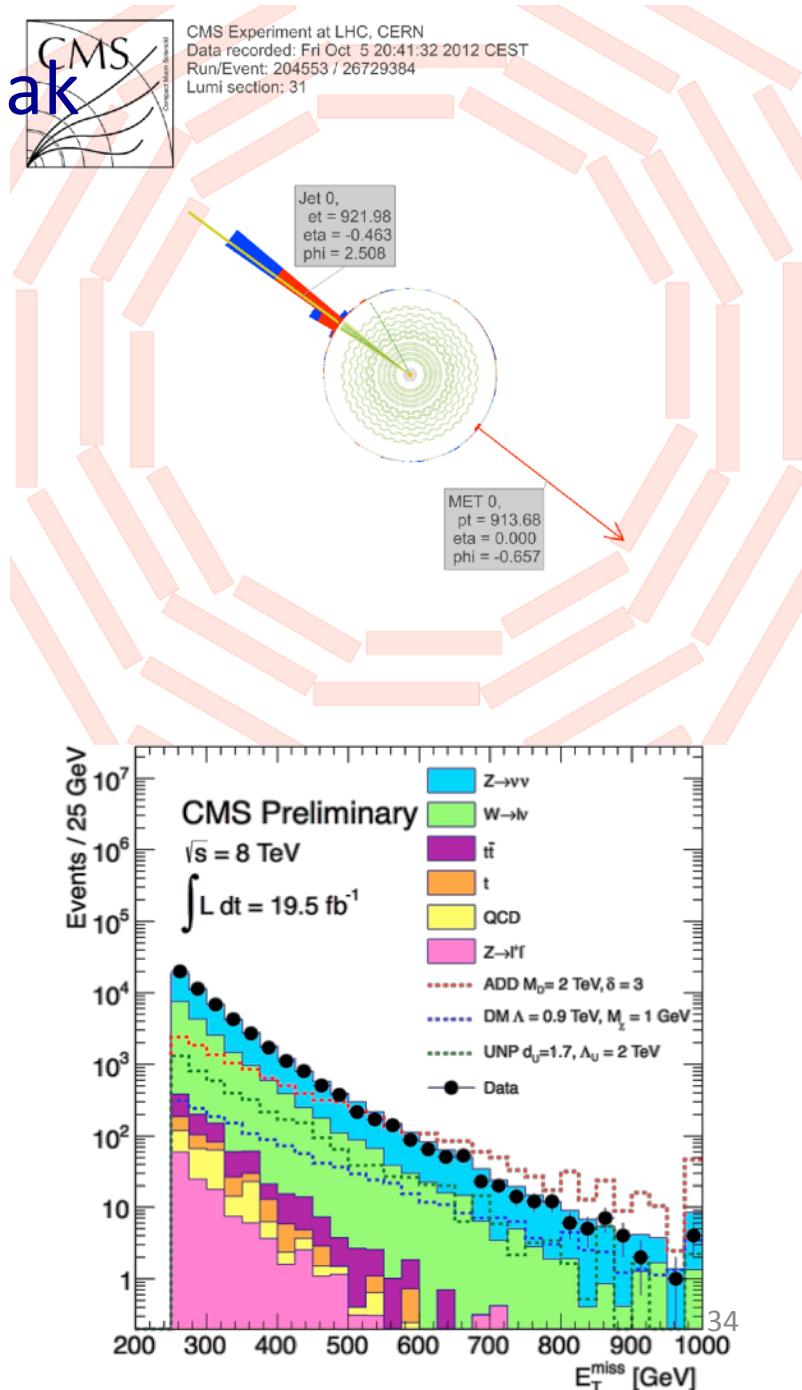
Doğrudan karanlık madde aramak

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

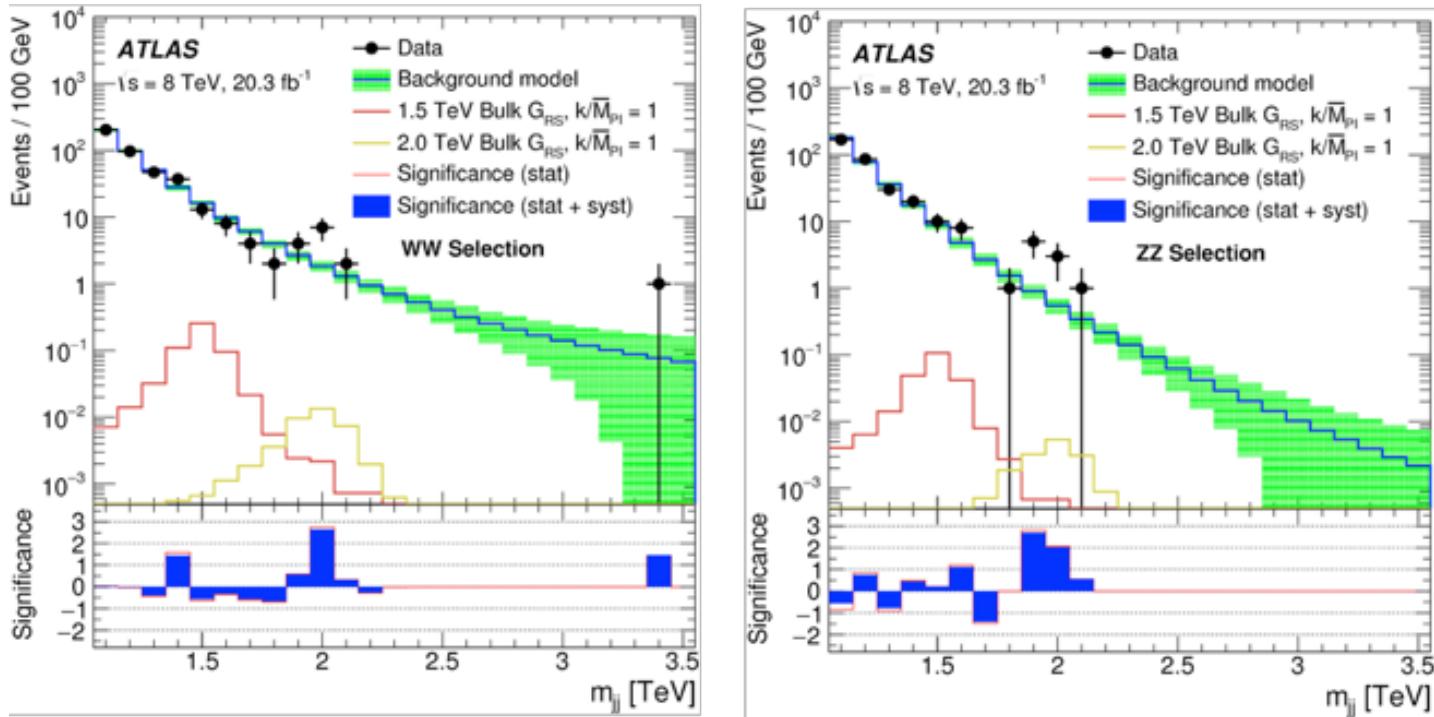


Bu görünmez olayı kuarktan işinan bir gluon jeti ile görünürlü yapabiliriz.

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



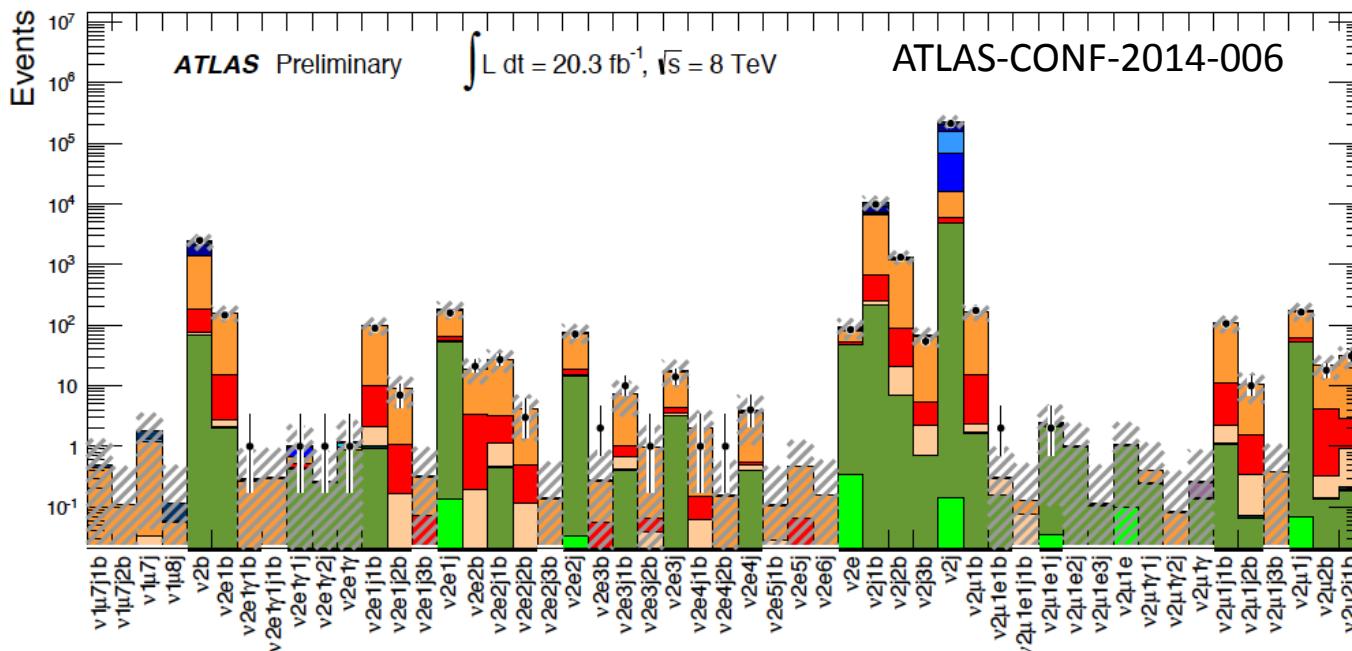
Rezonanslar



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

Yeni fiziği “heryerde” 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 bekłentisi 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.



BHÇ'de SM ötesi parçacıklar
adına ne bulduk?



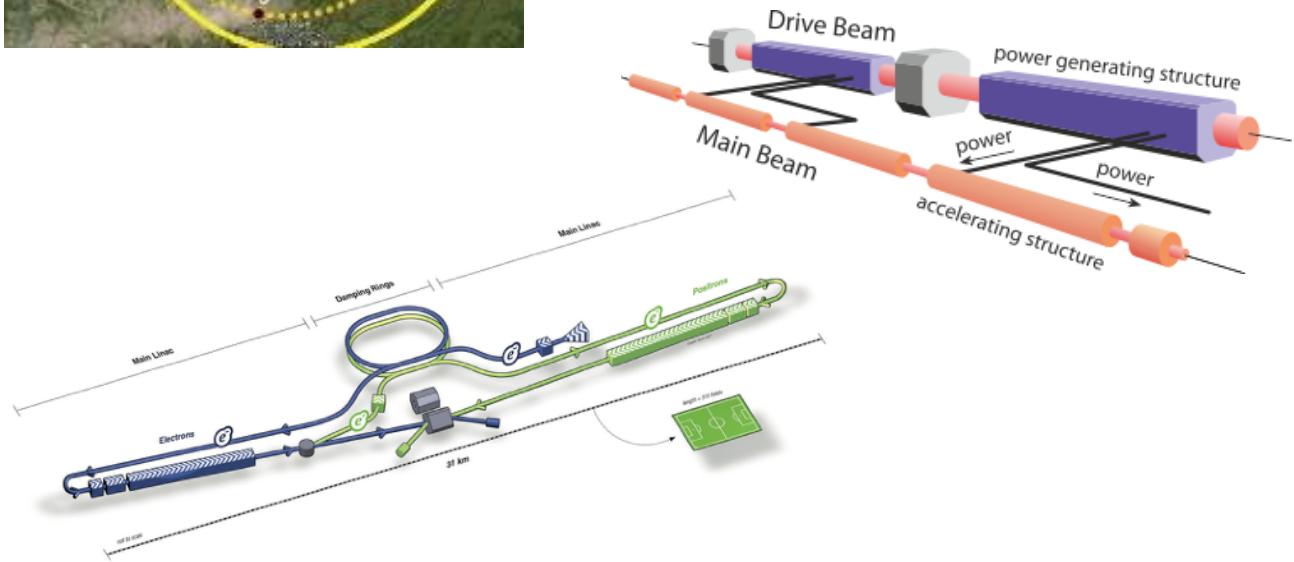
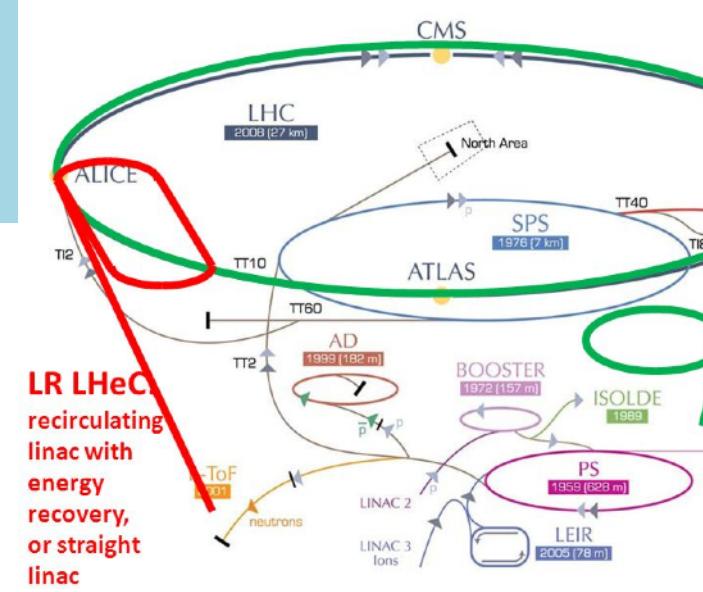
...AMA

yine de ilginç şeyler öğreniyoruz.

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

Bundan sonrası

- LHC upgrade
- LHeC
- FCC -100km
- CLIC -50km
- ILC -30km
- PC/HF -10km
- μ C
- AWAKE & co...
- μ H₂ & anti-H₂ ...



- *yeni müthiş fikir?...*