



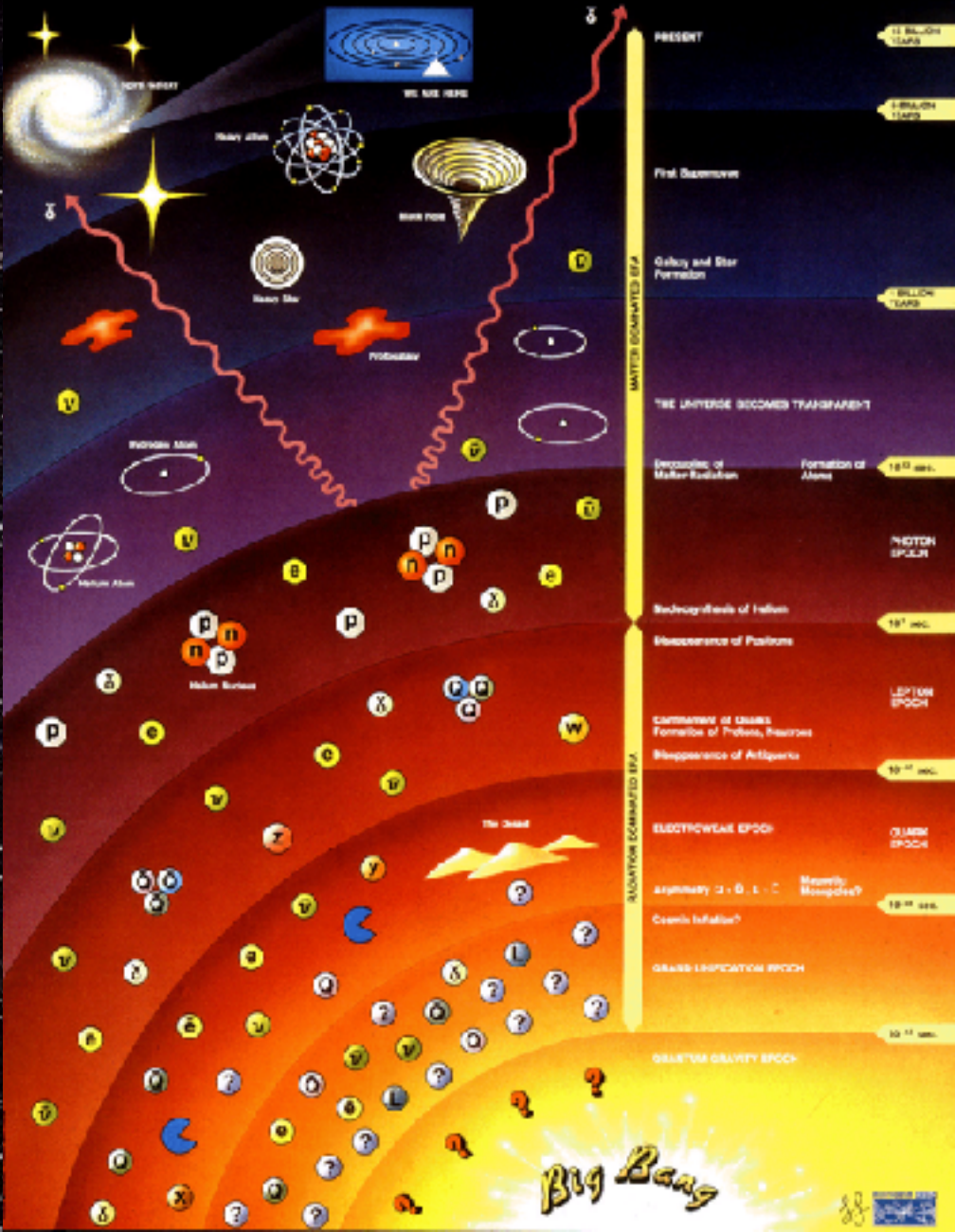
Güncel sorunlar ve çözüm arayışı

G. Ünel / S. Sekmen

PFBU

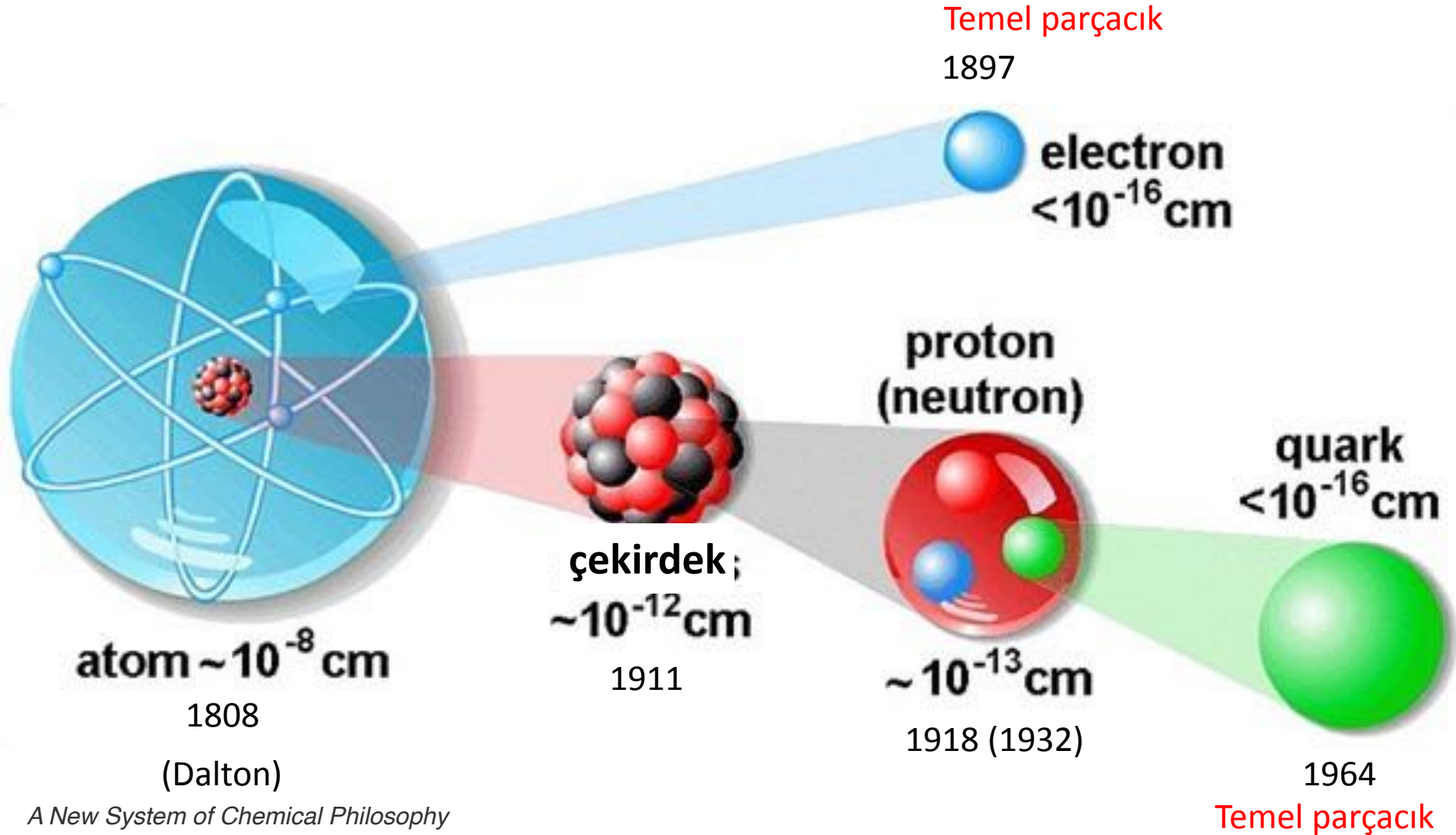
Subat 2020

History of the Universe



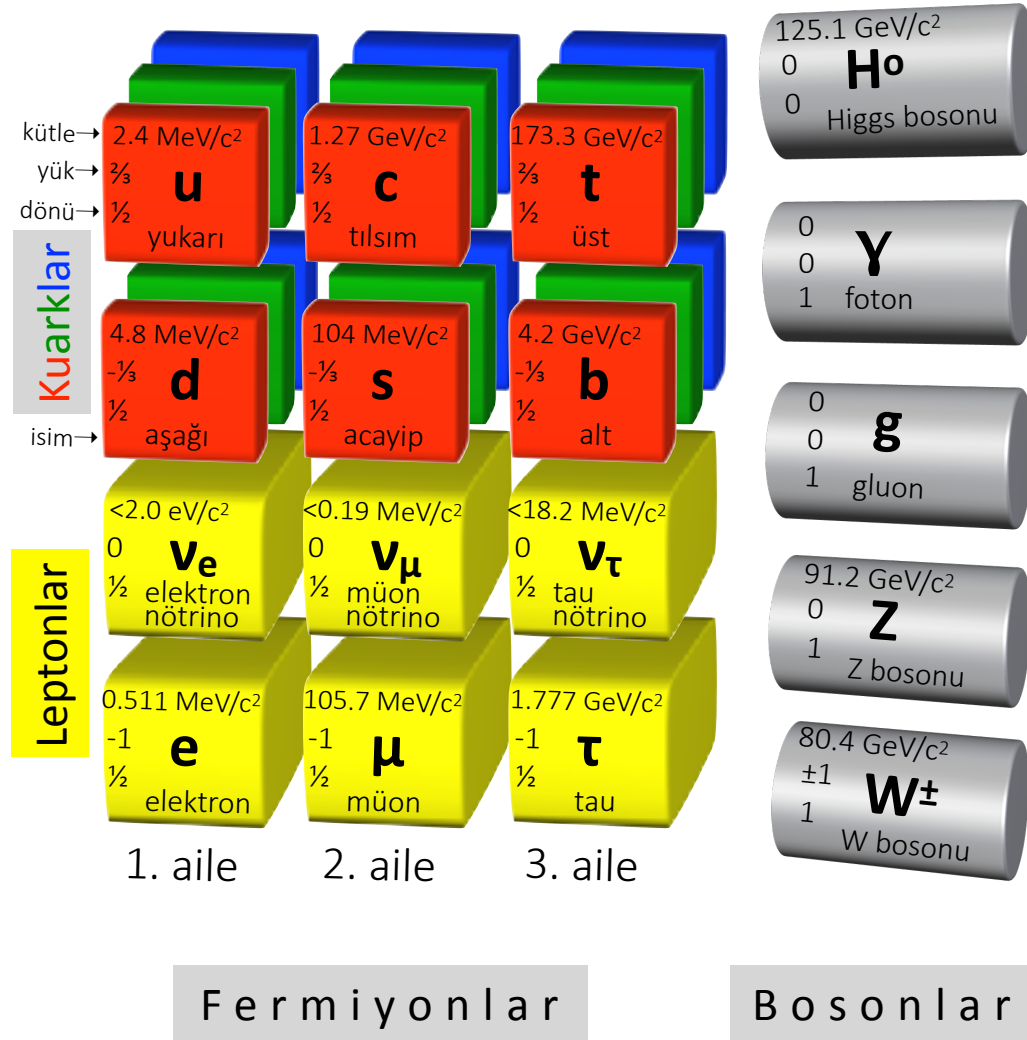
Evrenin gelişimi temel parçacıklarla ve onların etkileşimiyle doğrudan bağlantılıdır.

En büyükleri anlamak için en küçüğü çalışmak



A New System of Chemical Philosophy

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 **60 parçacık** (LHC öncesinde)

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

Maddeyi oluşturan parçacıklar

Etkileşim aracı parçacıklar

	Kuarklar	Kuarklar	Kuarklar
kütle	2.4 MeV/c ²	1.27 GeV/c ²	171.2 GeV/c ²
yük	2/3	2/3	2/3
dönü	1/2	1/2	1/2
isim	u yukarı	c tılsım	t üst
	d aşağı	s garip	b alt
	ν_e elektron nötrino	ν_μ müon nötrino	ν_τ tau nötrino
	e elektron	μ müon	τ tau
	1. aile	2. aile	3. aile

125.1 GeV/c²
0 **H⁰** H.i.
0 Higgs bosonu

0 **γ** E.M.
0 foton
1

0 **g** güçlü
0 gluon
1

91.2 GeV/c²
0 **Z** zayıf
1 Z bosonu
1

80.4 GeV/c²
 ± 1 **W[±]** zayıf
1 W bosonu
1

Bosonlar

Fermiyonlar

ψ

ϕ

A

W

SM içeriği

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

 ψ


- ▶ *Ayar kümesi yapısı*
 - ayar bosonlar: kuvvet taşıyıcılar

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

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

 $\phi\psi\psi$

- ▶ 3+1 uzay-zaman



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 içeriği

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

- ▶ *Ayar kümesi yapısı*
 - ayar bosonlar: 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 kütleleri & karışımları
- Gelişigüzel aile sayısı
- Bilinmeyen baryon çıkış kaynağı

SM eksikleri: Kütle sorunu

e: 0.5 t: 173300 MeV

Fermiyonlar

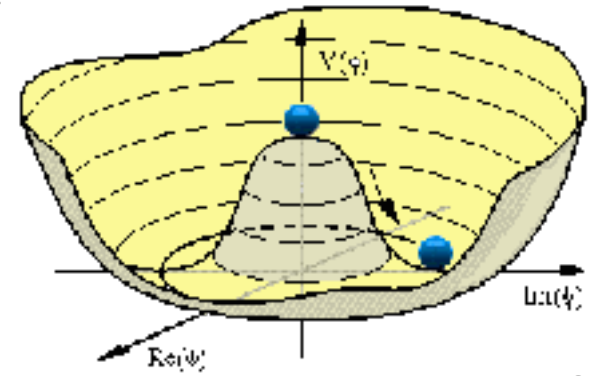
	Kuarklar		
kütle →	2.4 MeV/c ²	1.27 GeV/c ²	173.3 GeV/c ²
yük →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$
dönü →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
isim →	u yukarı	c tılsım	t üst
	4.8 MeV/c ²	104 MeV/c ²	4.2 GeV/c ²
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	d aşağı	s acayip	b alt
	<2.0 eV/c ²	<0.19 MeV/c ²	<18.2 MeV/c ²
	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	ν_e elektron nötrino	ν_μ müon nötrino	ν_τ tau nötrino
	0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²
	-1	-1	-1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	e elektron	μ müon	τ tau
	1. aile	2. aile	3. aile

Bosonlar

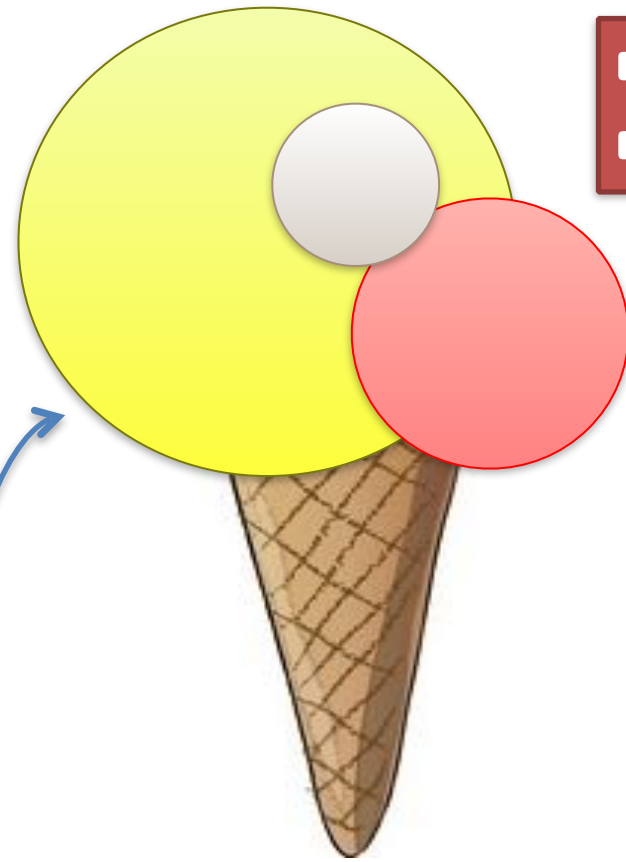
125.1 GeV/c ²	0	0	H⁰ Higgs bosonu
0	0	0	γ foton
0	0	1	g gluon
91.2 GeV/c ²	0	1	Z Z bosonu
80.4 GeV/c ²	± 1	1	W[±] W bosonu

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

Çözüm:



SM eksikleri: Çeşni sorunu



Fermiyonlar

	1. aile	2. aile	3. aile
Kuarklar			
kütle →	2.4 MeV/c ²	1.27 GeV/c ²	173.3 GeV/c ²
yük →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$
dönü →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
isim →	u yukarı	c tılsım	t üst
	d aşağı	s acayıp	b alt
Leptonlar			
kütle →	<2.0 eV/c ²	<0.19 MeV/c ²	<18.2 MeV/c ²
yük →	0	0	0
dönü →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
isim →	ν_e elektron nötrino	ν_μ müon nötrino	ν_τ tau nötrino
	e elektron	μ müon	τ tau

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

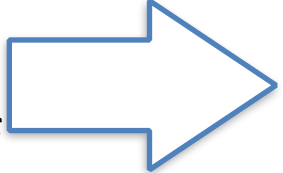
SM eksikleri: Kuvvetler farklılığı

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

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



Elektromanyetik
Zayıf
Güçlü



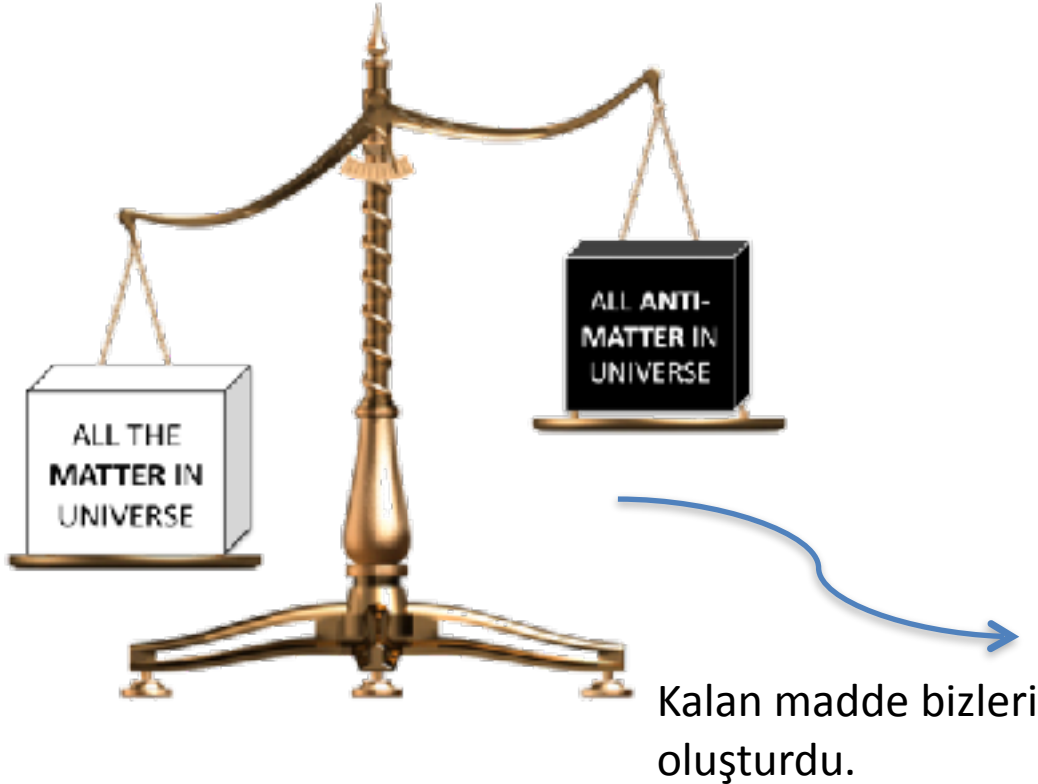
ElektroZayıf

Kütleçekim
*elektromanyetizmadan
10⁴⁰ kadar güçsüz.*

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?



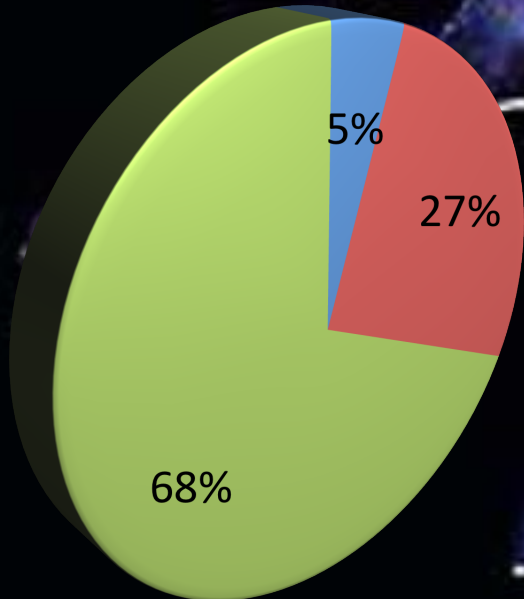
SM eksikleri: Karanlık madde ve karanlık enerji nedir? Neden yapılmışlardır?

Evrenin içeriği:

%4.9 görünen madde

%26.8 karanlık madde

%68.3 karanlık enerji

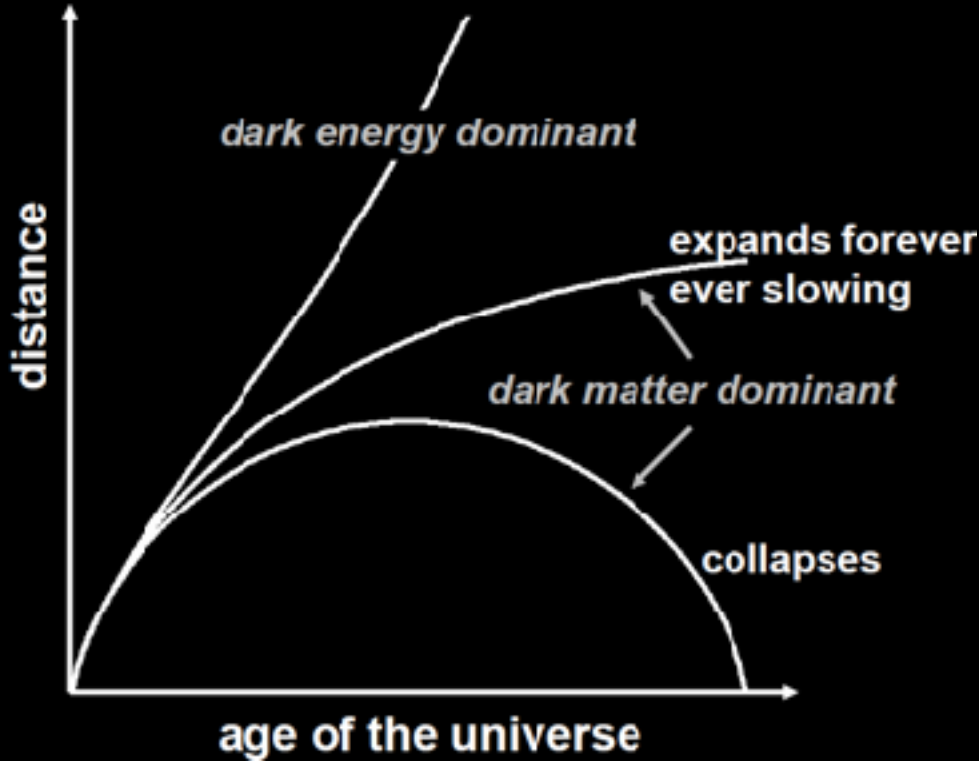


SM eksikleri: Karanlık madde



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 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-karşıit madde asimetrisi Süpersimetri

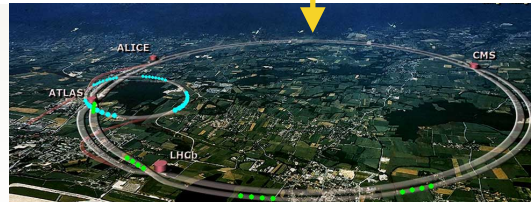
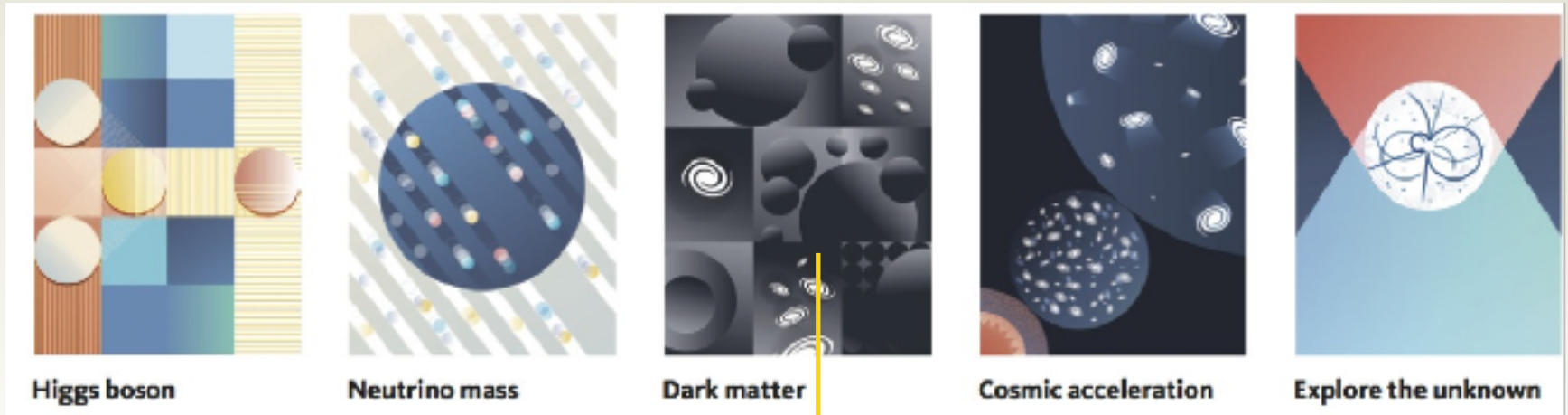
BBK karanlık madde sorunu Süpersimetri

karanlık enerji sorunu

P5'den 5 ayaklı plan

particle physics project prioritization panel

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



3-cepheli bilim savaşı



Enerji Cephesi

Kütlelerin Kökeni

Madde/Anti-Madde
Asimetrisi

Karanlık Madde

Yeni Fizik

Evrenin Kökeni

Kuvvetlerin Birleşmesi

Standard Model Ötesi

Yoğunluk Cephesi

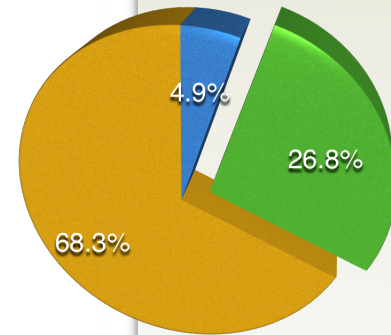
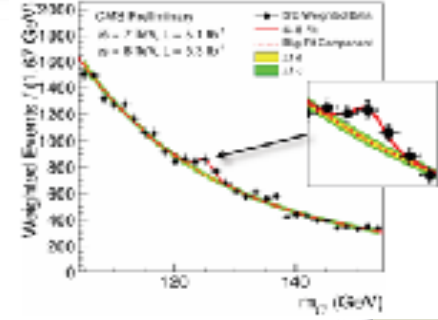
Nötrino Fiziği

Proton Bozunumu

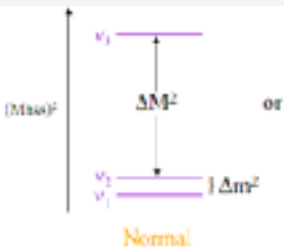
Karanlık Enerji

Kozmik Parçacıklar

Kozmik Cephe



- Olağan Madde
- Karanlık Madde
- Karanlık Enerji



Önce buraya bakalım...

SM'den SM ötesine

4.Aile

► *Fermionlar: madde parçacığı*

- Kuarklar & Leptonlar

yeni kuarklar

yeni leptonlar

lepto-kuarklar

yeni bileşenler

bileşik modeller

BBK

► *Ayar kümesi yapısı*

- ayar bosonlar: kuvvet taşıyıcılar

Ayar Kümesi K

yeni ayar bosonları

Küçük Higgs

► *EZ Bakışım Kırılması*

- Higgs bosonu ile kütle kazanımı

Dinamik Bakışım Kırılması

Teknirenk

2HÇM

yeni sayılar

yeni EZBK yöntemleri

► *3+1 uzay-zaman*

yeni boyutlar

RS modelleri

ADD modelleri

SM'den SM ötesine

4. Aile

- *Fermionlar*: madde parçacığı
 - Kuarklar & Leptonlar

yeni kuarklar

yeni leptonlar

lepto-kuarklar

yeni bileşenler

bileşik modeller

BBK

- *Ayar kümesi yapısı*

Ayar Kümesi K

- ayar bosonlar: kuvvet taşıyıcılar

yeni ayar bosonları

Küçük Higgs

- *EZ Bakışım Kırılması*

- Higgs bosonu ile kütle kazanımı

Dinamik Bakışım Kırılması

Teknirenk

2HÇM

yeni sayıllar

yeni EZBK yöntemleri

- *3+1 uzay-zaman*

yeni boyutlar

RS modelleri

ADD modelleri

SM'den SM ötesine

4. Aile

- *Fermionlar: madde parçacığı*
 - Kuarklar & Leptonlar

yeni kuvarklar

yeni leptonlar

lepto-
kuvarklar

yeni
bileşenler

bileşik
modeller

BBK

- *Ayar kümesi yapısı*

Ayar
Kümesi K

yeni ayar
bosonları

- ayar bosonlar: kuvvet taşıyıcılar

Küçük
Higgs

- *EZ Bakışım Kırılması*

- Higgs bosonu ile kütle kazanımı

Dinamik
Bakışım
Kırılması

2HÇM

yeni sayılar

yeni EZBK
yöntemleri

Teknirenk

- *3+1 uzay-zaman*

yeni boyutlar

RS
modelleri

ADD
modelleri

SM'den SM ötesine

4. Aile

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

yeni kuarklar

yeni leptonlar

lepto-kuarklar

yeni bileşenler

bileşik modeller

BBK

- ▶ *Ayar kümesi yapısı*

Ayar Kümesi K

yeni ayar bosonları

- ayar bosonlar: kuvvet taşıyıcılar

Küçük Higgs

- ▶ *EZ Bakışım Kırılması*

- Higgs bosonu ile kütle kazanımı

Dinamik Bakışım Kırılması

yeni sayıllar

yeni EZBK yöntemleri

Teknirenk

2HÇM

- ▶ **3+1 uzay-zaman**

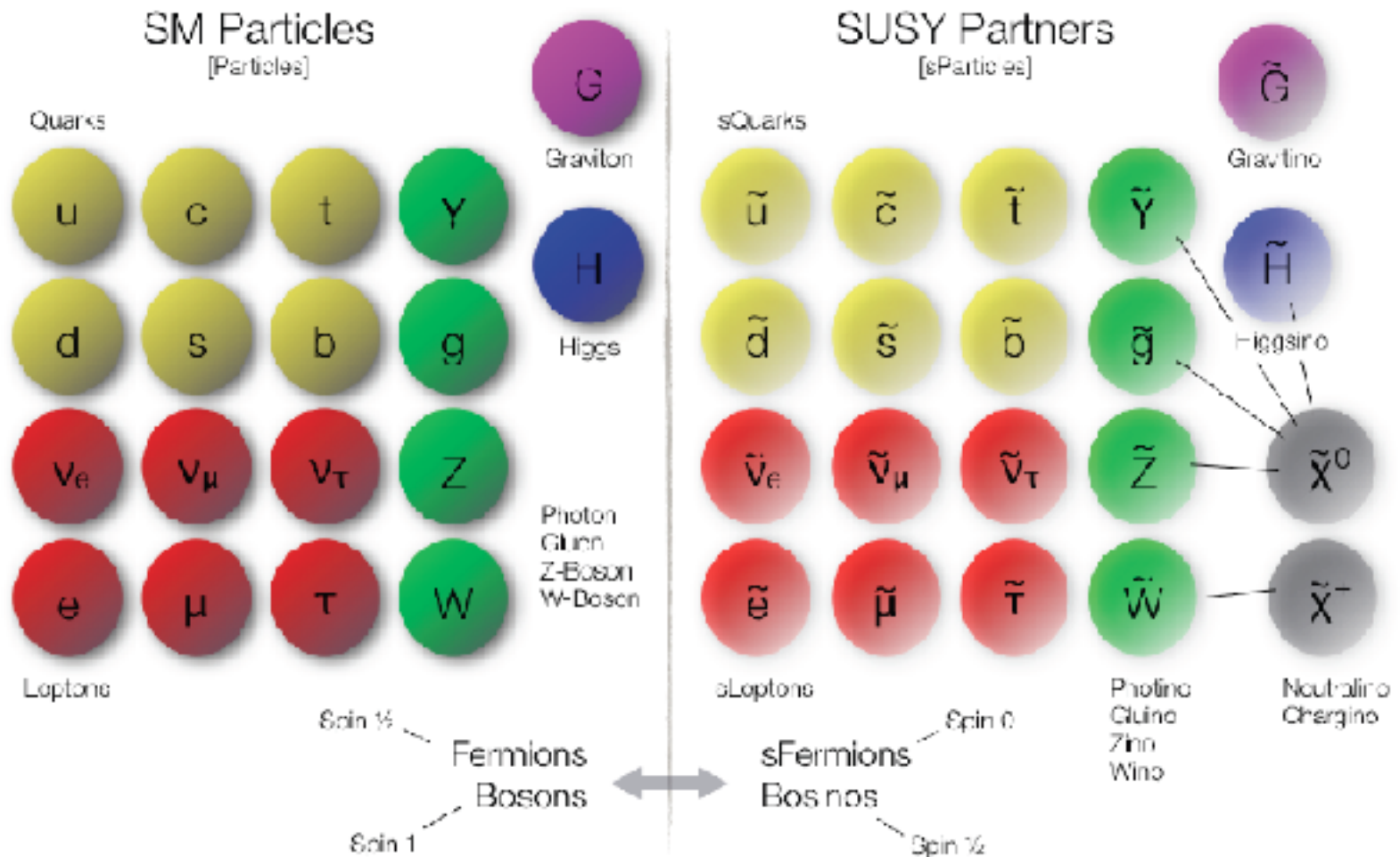
yeni boyutlar

RS modelleri

ADD modelleri

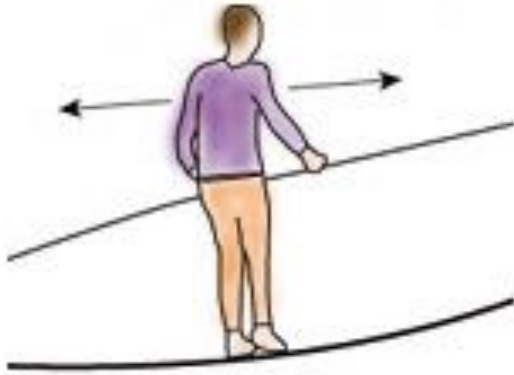
Aday kuram: Süpersimetri

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(üper)parçacık bulunduğunu söyler.

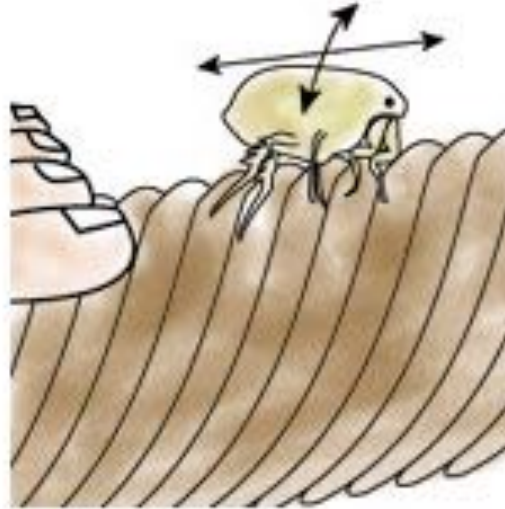


Aday kuram: Ek boyutlar

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

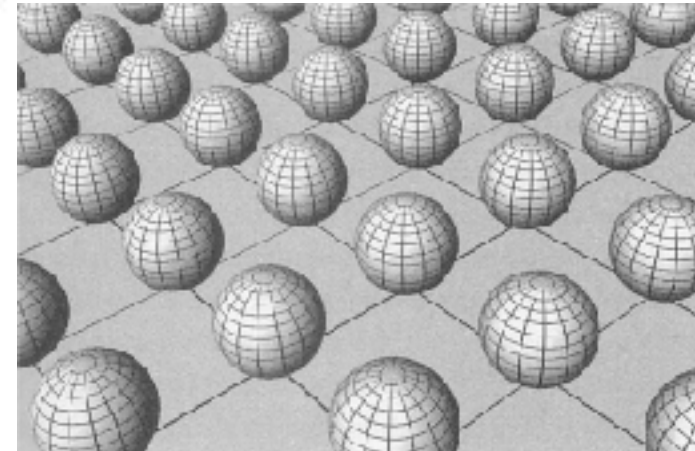


An acrobat can only move in one dimension along a rope..



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

Mesela ek boyutların içerisine girildiğinde kütleçekim kuvveti artar.

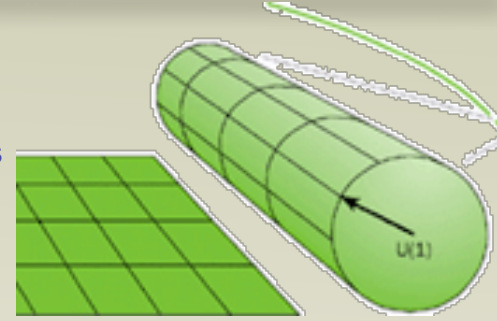


bazı EB kavramları

► Geniş Ek Boyutlar (GEB, ADD):

- tıkızlanmış, düz
- $M_{Pl}^2 \sim R_n M_S^{2+n}$, M_S : sicim ölçeği
- Graviton yığına (bulk)

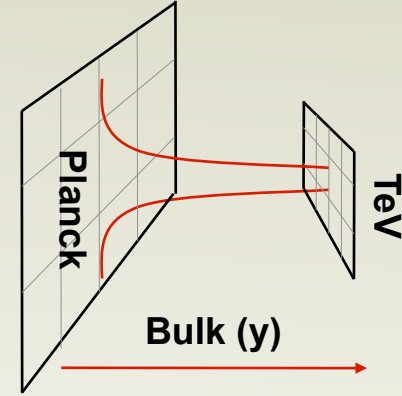
Arkani-Hamed, Dimopoulos, Dvali Phys Lett B429 (98)



► TeV-1 Ek Boyutlar (DDG):

- M_T : tıkızlanma ölçeği
- Ayar & Higgs bosonlar da yığına

Dienes, Dudas, Gherghetta Nucl Phys B537 (99)



► Bükük Ek Boyutlar (RS):

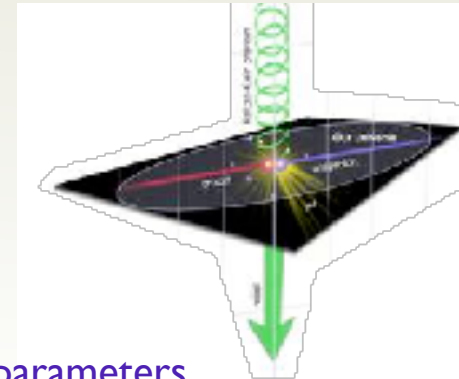
- 2-zarlı çözüm: RS tür1
- k/M_{Pl} , k : eğrilme, bükülme çarpanı
- dar 2dönülü tınlaşım: Graviton

Randall, Sundrum Phys Rev Lett 83 (99)

► Evrensel Ek Boyutlar (UED):

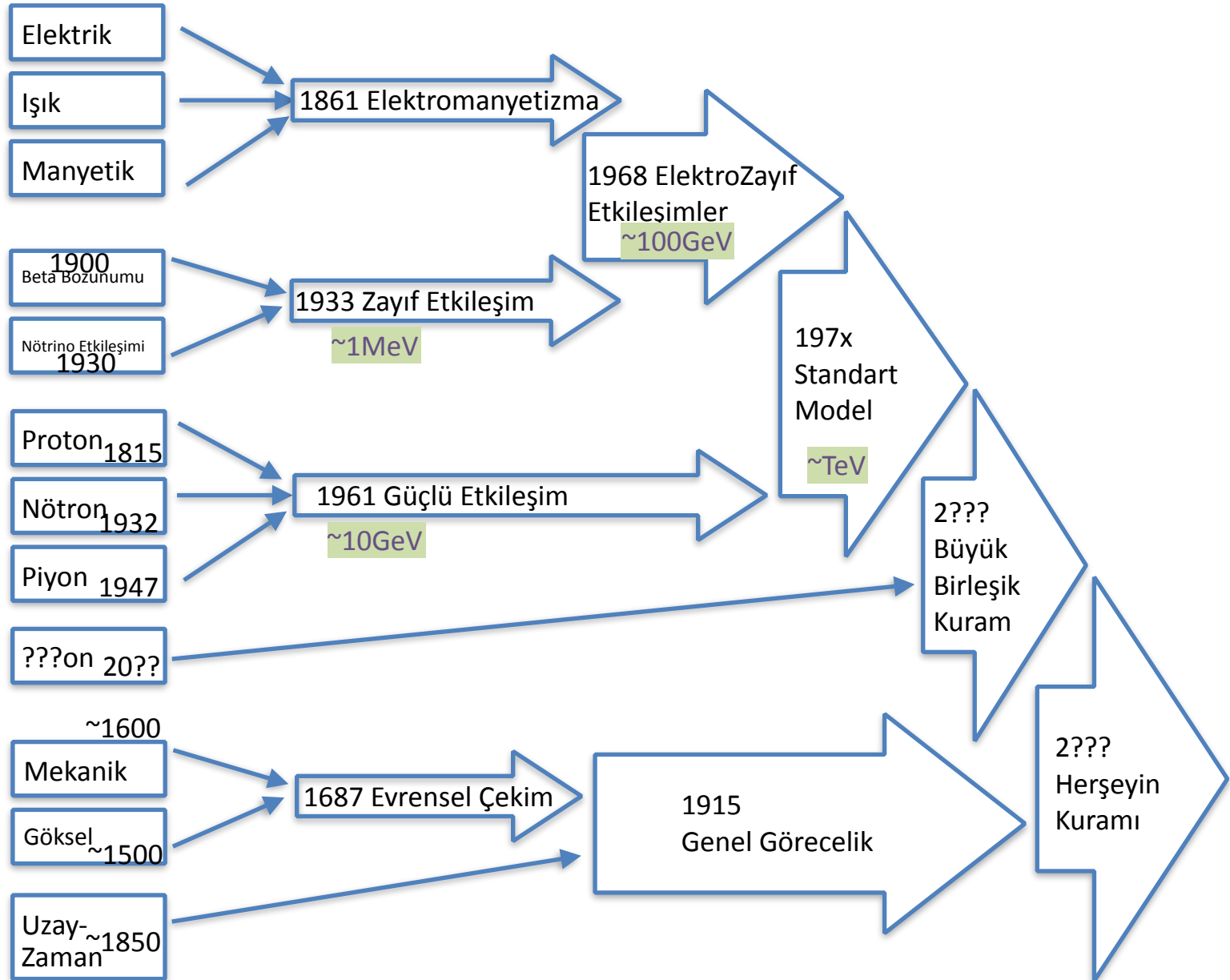
- KK-sayısı korunumu
- M_T ve kesim ölçeği Λ
- Bütün SM parçıklar yığına
- Bir çok KK spectra (ÜSBA beklentileri gibi)

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



$G^{a,b,n}, M_C, R$: model parameters

Fizikte Kuramların Birleşmesi



Aday kuram: Büyük Birleşme Kuramı



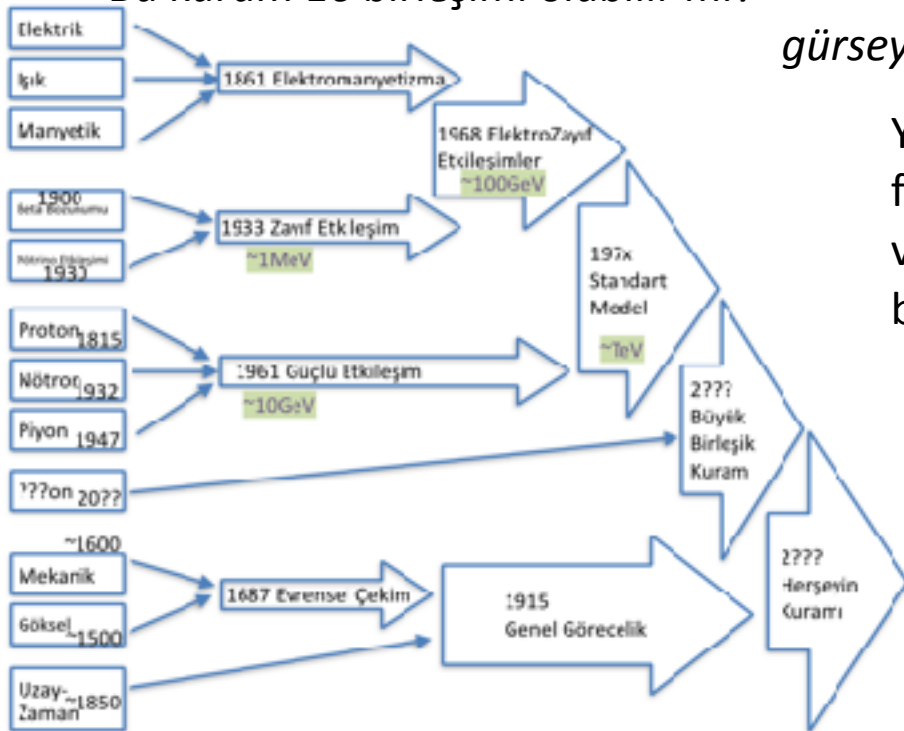
Gözlemlediğimiz **ElektroZayıf** ve **Güçlü** kuvvetler **aynı** kuvvetin farklı bakış açılarına göre izdüşümleri olabilir.

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

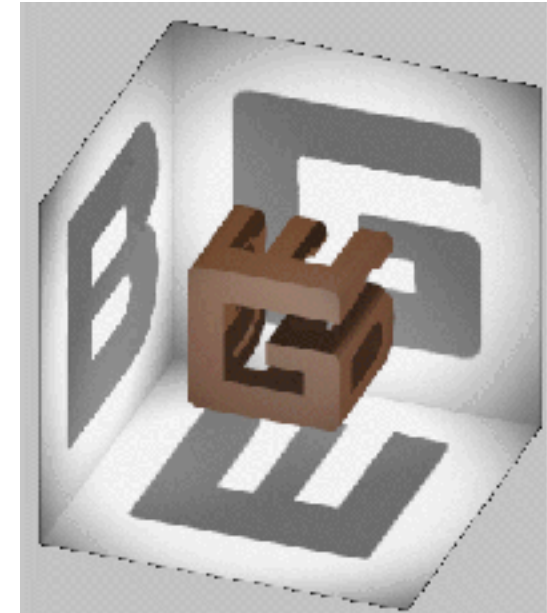
*Lepton sayısını 4 QCD rengi olarak düşünebilir miyiz?
patti - salam 1975*

Bu kuram E6 birleşimi olabilir mi?

gürsey 1976



Yeni
fermion
ve
bozonlar



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:

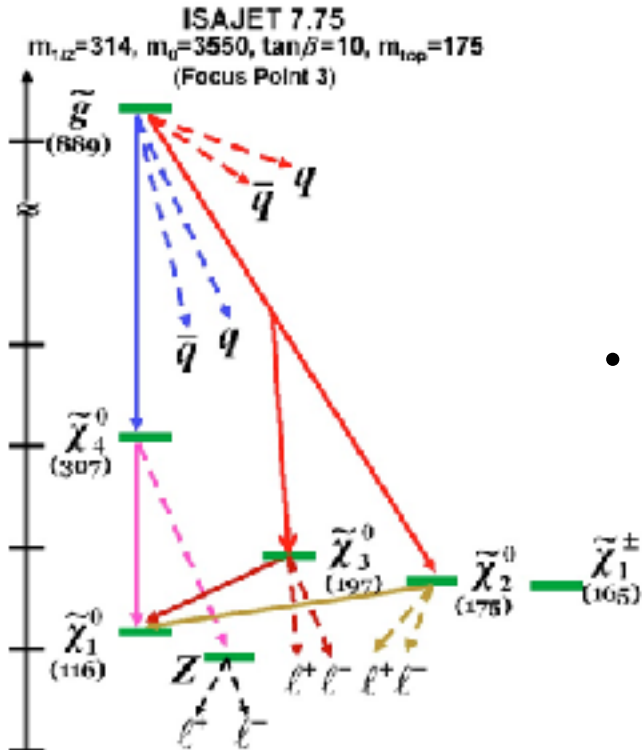
- Öncelikle **SMnin baskın olduğu son durumlarda** ölçümler yaparak SMi doğrularız. Veride SM öngörüsüne göre bir fark olup olmadığına bakarız. Şimdiye kadar fark görmedik.
- **Çok sayıda farklı son duruma aynı anda kabaca bakarız** ve SMden bir farklılık ararız.

- 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 parçacığı tanımaya çalışırız.
- Eğer **fark çıkmazsa** veride fazlalık öngören yeni kuramları **dıştalarız**.

Süpersimetri araştırmaları

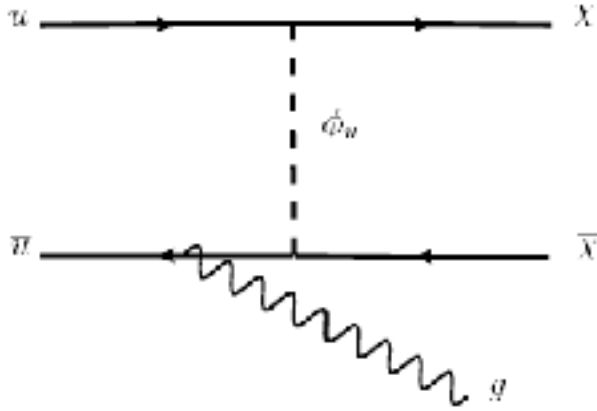
- SUSY 100ün üzerinde serbest parametresi olan bir kuramdır. Çok farklı şekillerde ortaya çıkabilir: farklı süperparçacık kütleleri, farklı tesir kesitleri, farklı dallanma oranları...
- Böylece SUSY BHÇ'de çok çeşitli şekillerde görülebilir.



- 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 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.

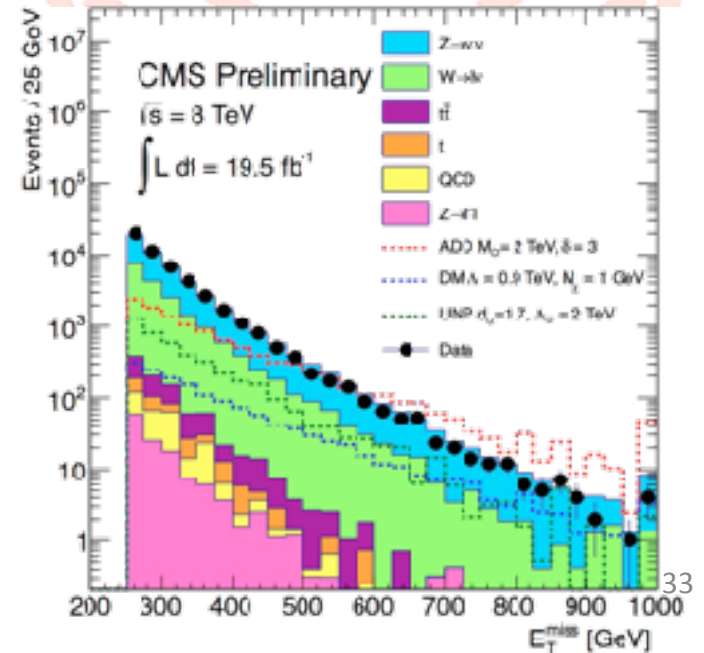
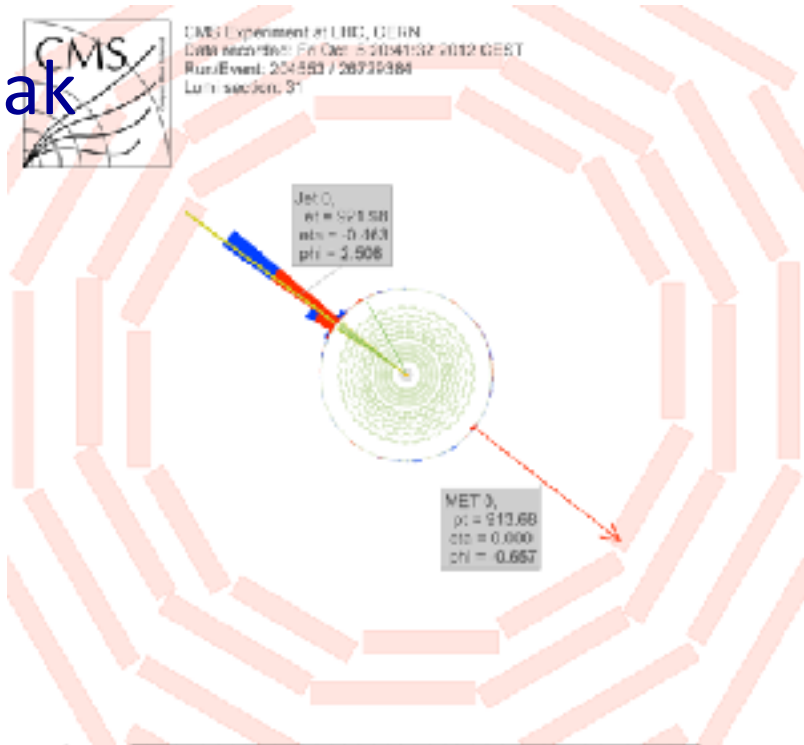
Doğrudan karanlık madde arama

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

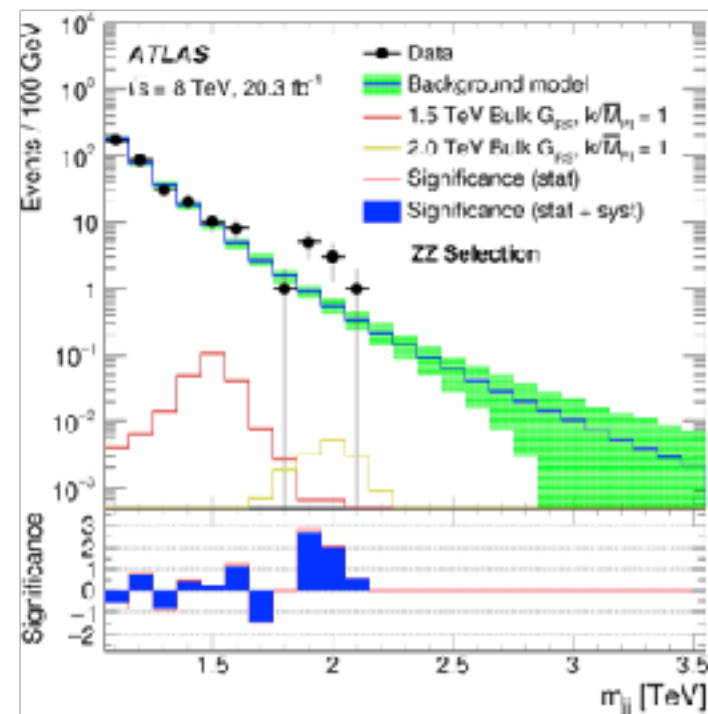
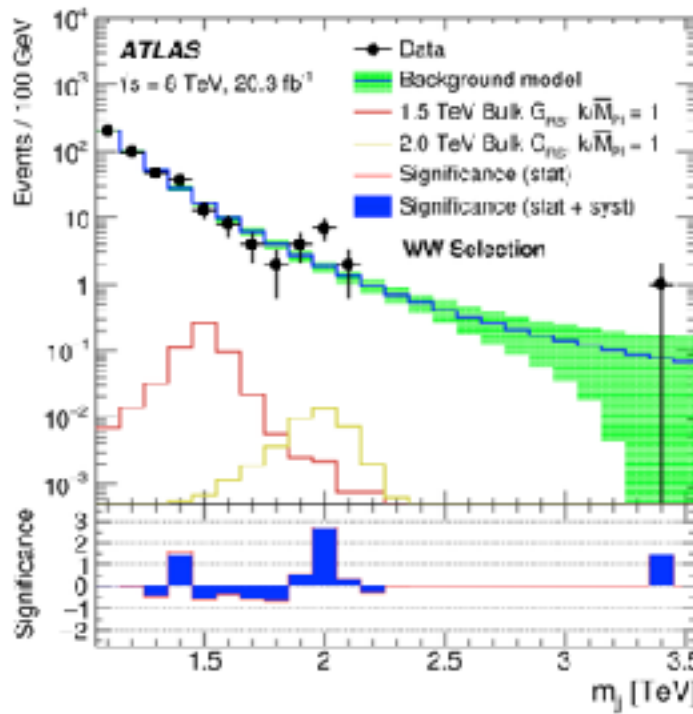


Bu görünmez olayı kuarktan ışınan bir gluon jeti ile görünür yapabiliriz.

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



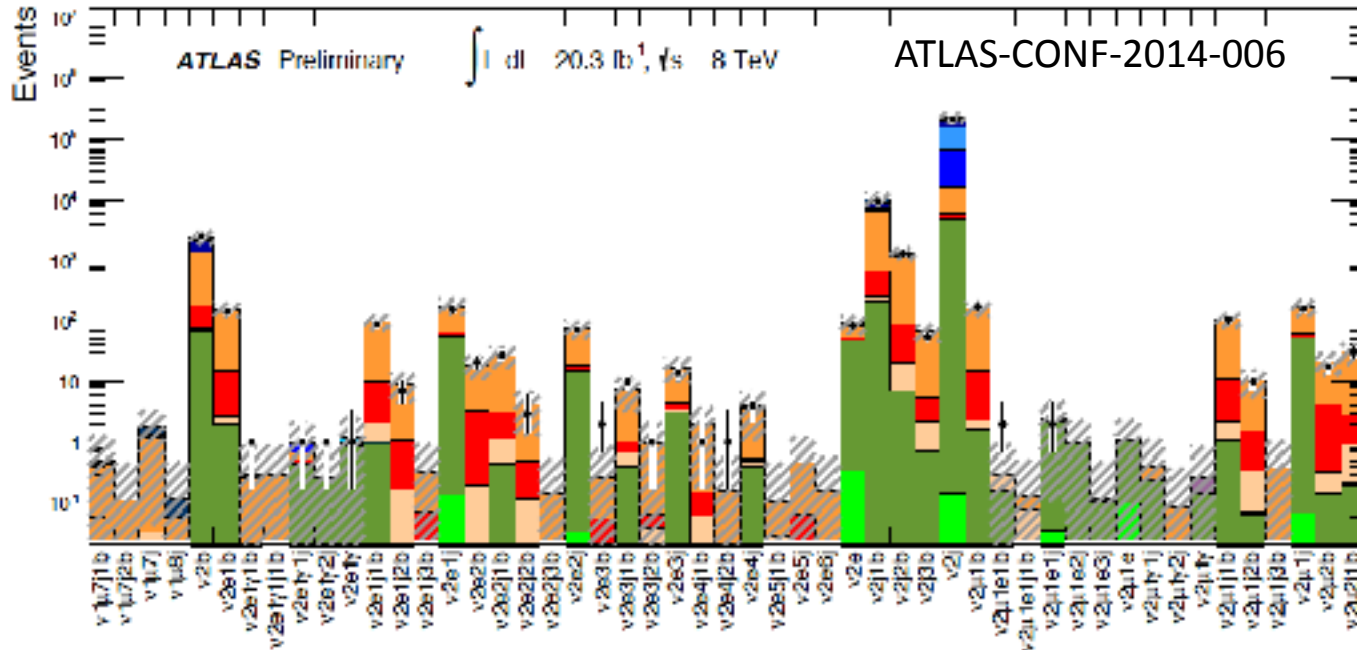
Rezonanslar



- Eğer ağır bir parçacığın bozunduğu tüm parçacıkları algıta gözleyebiliyorsak ağır parçacığı tanımlayabiliriz ve değişmez kütlelerini 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...

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.

BHÇ'de SM ötesi parçacıklar
adına ne bulduk?



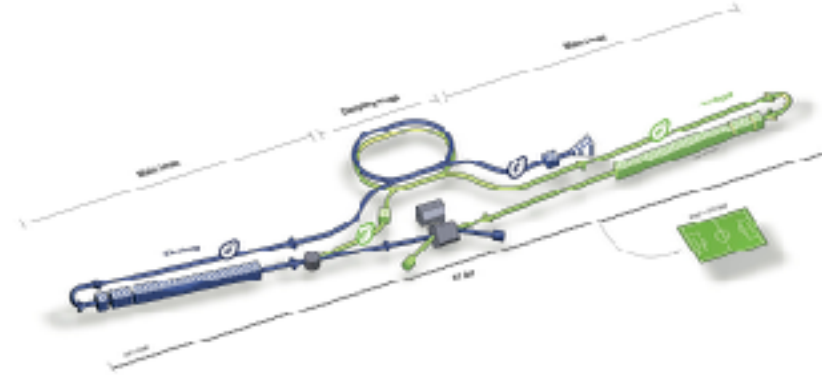
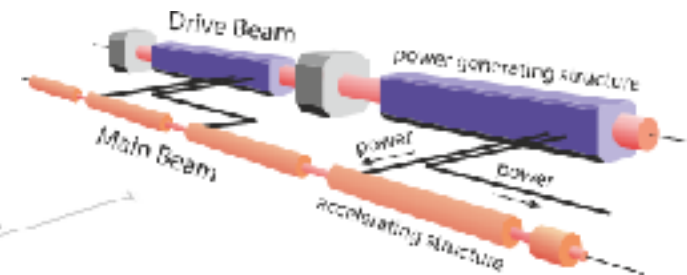
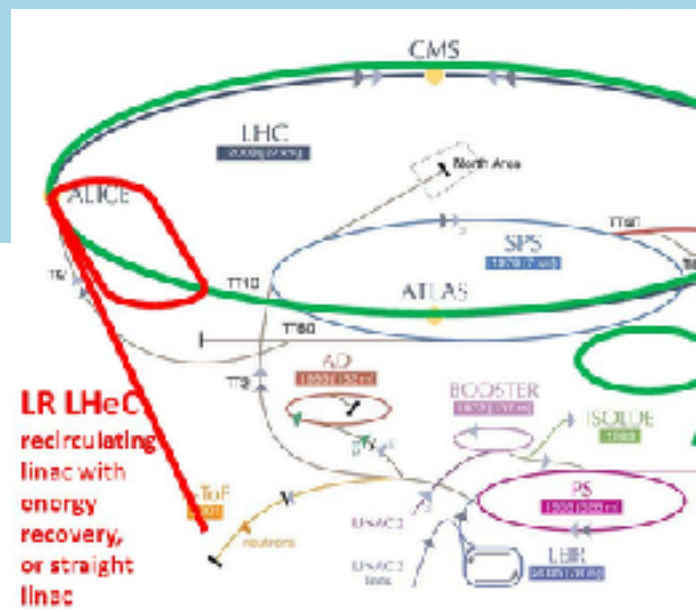
...AMA

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
- μC



- AWAKE & co...
- μH_2 & anti- H_2 ...

• yeni müthiş fikir?...