

Parçacıkların Standart Modeli ve BHÇ

Prof. Dr. Altuğ Özpineci
ODTÜ Fizik Bölümü

Parçacık Fiziği

- Maddeyi oluşturan *temel* yapı taşlarını ve onların *temel* etkileşimlerini arar
- Democritus (460 MÖ - 370 MÖ) ve Aristotile (384 MÖ - 322 MÖ)
 - Sihirli bir bıçakla maddeyi sonsuza kadar ikiye bölmek mümkün müdür?

Parçacık Fiziği

Neden yüksek enerjiler?

- Bir mikroskobun çözünürlüğü dalga boyu ile ters orantılıdır, dalgaboyu ne kadar küçük ise, çözünürlüğü o kadar fazladır
- Maddenin içine bakmak için, elektromanyetik dalga yerine de Broglie dalgaları kullanırız
- Parçacıkların enerjisi ne kadar fazla ise, de Broglie dalga boyu o kadar azdır.
- BHÇ'sı 27km uzunluğunda bir mikroskoptur

Parçacık Fiziği

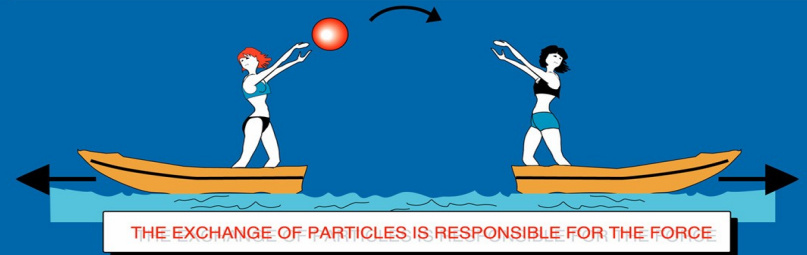
Kuvvet nedir?

$$\vec{F} = m\vec{a} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

- Bir maddenin momentumu değişir ise, bunu etki eden bir kuvvet olarak algılarız

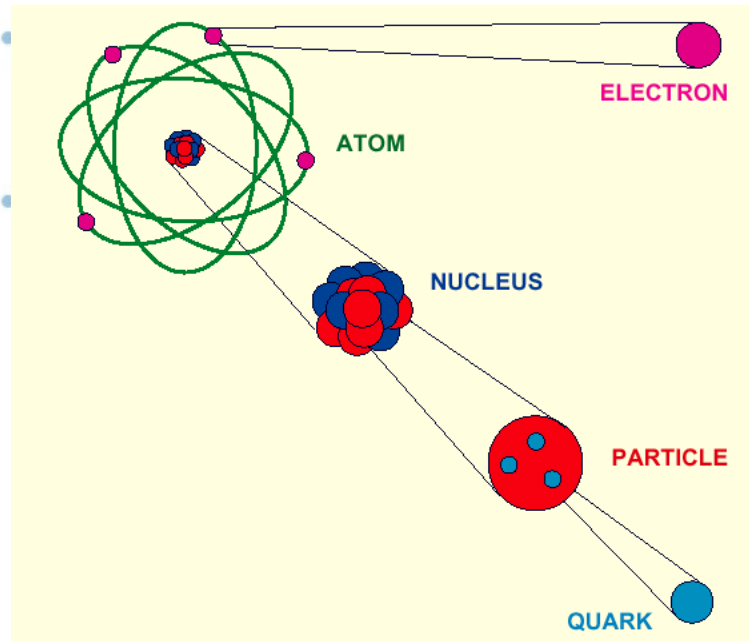
The forces in Nature

TYPE	INTENSITY OF FORCES (DECREASING ORDER)	BINDING PARTICLE (FIELD QUANTUM)	OCCURS IN :
STRONG NUCLEAR FORCE	~ 1	GLUONS (NO MASS)	ATOMIC NUCLEUS
ELECTRO -MAGNETIC FORCE	$\sim 10^{-3}$	PHOTONS (NO MASS)	ATOMIC SHELL ELECTROTECHNIQUE
WEAK NUCLEAR FORCE	$\sim 10^{-5}$	BOSONS Z^0 , W^+ , W^- (HEAVY)	RADIOACTIVE BETA DESINTEGRATION
GRAVITATION	$\sim 10^{-38}$	GRAVITONS (?)	HEAVENLY BODIES



Atomun Temel Yapıtaşları

Constituents of Matter



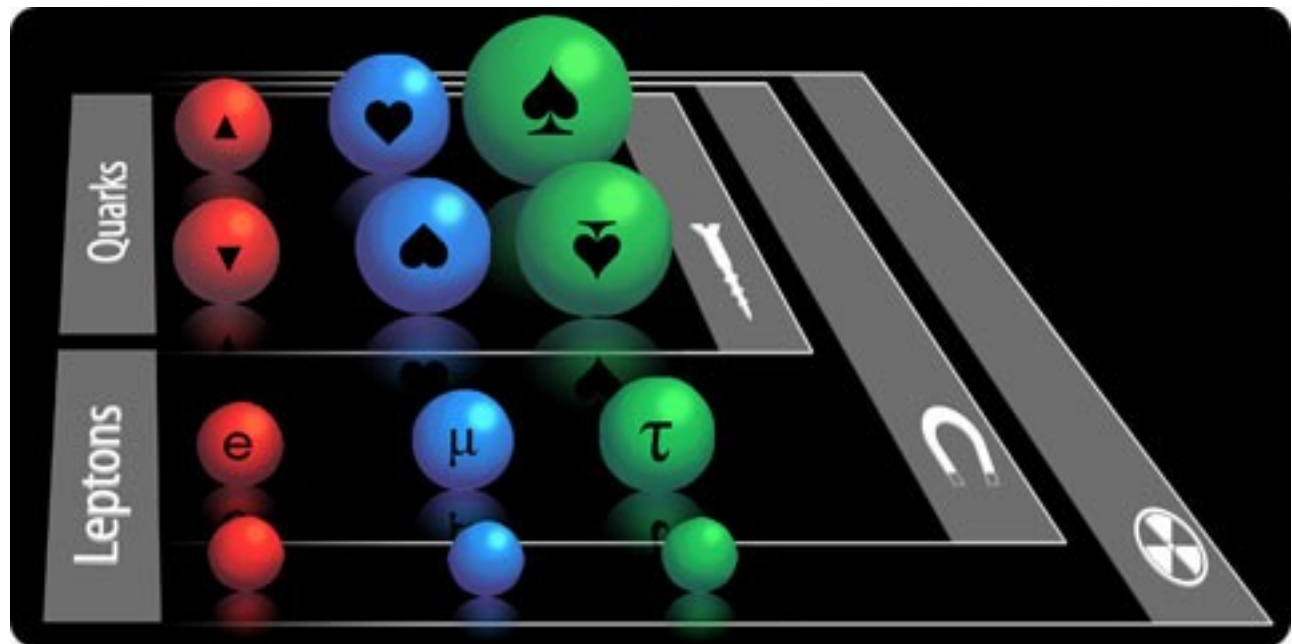
Standart Model: Fermiyonlar

6 Kuark

6 Lepton

$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix} \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}$$

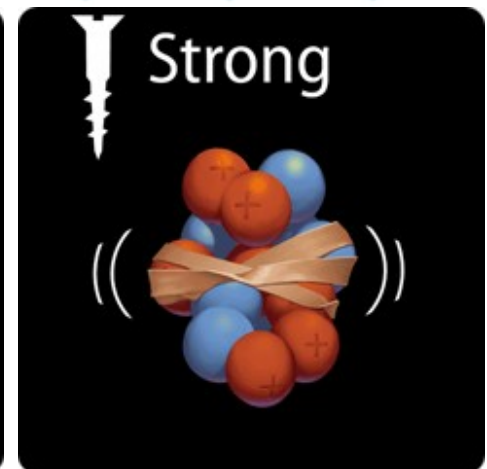
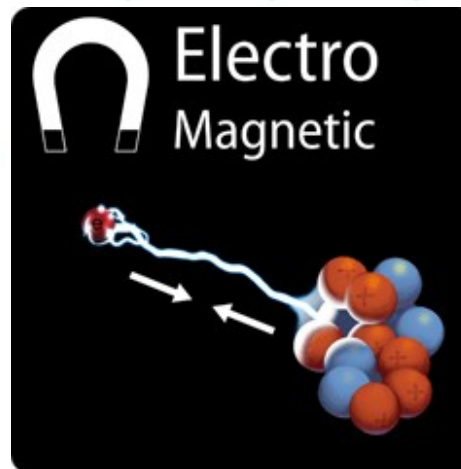
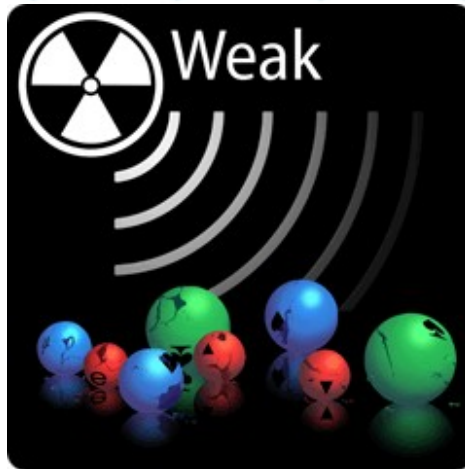


Standart Model: Ayar Bozonları

$W^{\pm}, Z$

γ

g



SM'deki Temel Etkileşimler

- EM Etkileşim: gündelik hayatta hissettiğimiz(çekim gücü hariç) bütün kuvvetlerin sorumlusu
 - Olmasaydı atomlar olamazdı
- Zayıf Etkileşim: güneşin enerjisinin kaynağı
 - $p + p + p + p \rightarrow He(2p2n) + 2e^+ + 2\nu_e$
- Kuvvetli Etkileşim: Atom çekirdeğindeki proton ve nötronları bir arada tutan kuvvet

Kütle Çekimi

- Kütle Çekimi standart model ile açıklanamaz
- Kütle çekimi en az anladığımız kuvvettir
- Şimdiye kadar Einstein denklemlerinin kuantum versiyonunu yazma çabaları boşa çıkmıştır

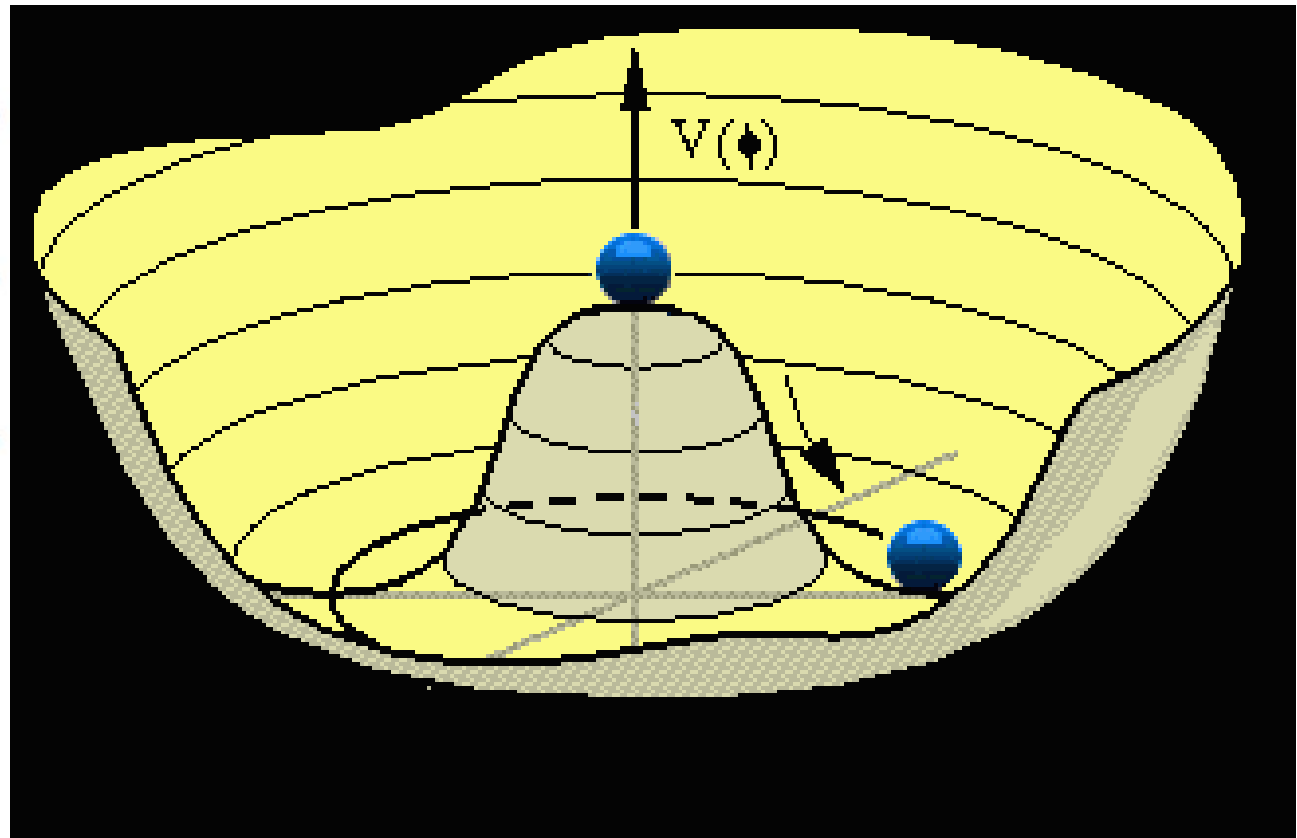
Standart Model: Kütle

- Sadece bu parçacıkları kullanarak SM'e, simetrilerinden dolayı, kütle terimi eklemek mümkün değil
- Parçacıkların kütlelerini Higgs mekanizması denen bir mekanizma ile ekleriz
- Kütle nedir? Kütleli parçacıklar ışık hızından yavaş giderler

Standart Model: Higgs Parçacığı



Kendiliğinden Simetri Kırılması



Standart Modelin Eksikleri

- Kütle çekimi yok
- Higgs parçacığı henüz gözlemlenmiş değil
- (BHÇ'de 2-3 tane yaratıldığı düşünülüyor, ancak henüz kesin değil)
- SM'deki nötrinolar kütesiz (nötrino salınımlarının en doğal açıklaması nötrinoların kütleli olması)

Standart Modelin Cevaplamadıkları

- Neden 3(+1+?) farklı kuvvet var?
- Neden elektrik yükü kesikli değerler alıyor?
- Neden üç tane kuark, üç tane lepton ailesi var?
- Neden parçacıkların kütleleri sahip oldukları değerlere sahip?
- Neden parçacıkların kütleleri arasında bu kadar büyük farklılıklar var?

$$\left. \begin{array}{l} m_t \simeq 170 \text{ GeV} \\ m_e \simeq 0.5 \text{ MeV} \\ m_\nu < 1 \text{ eV} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{m_t}{m_e} \sim 10^6, \frac{m_t}{m_\nu} > 10^{12}$$

Evrenle İlgili Problemler

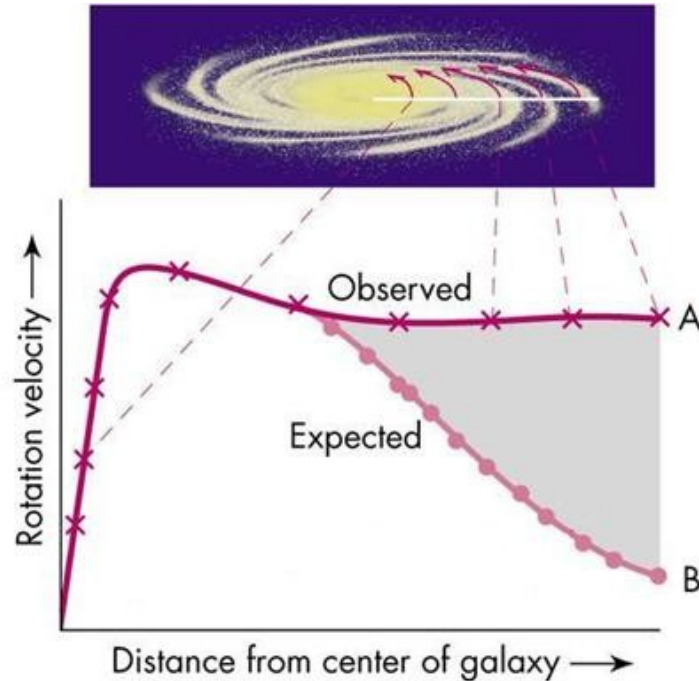
- Neden kütle çekimi bu kadar zayıf?
- • Karanlık madde neden oluşuyor?
- Karanlık enerji ne?
- • Kozmolojik sabit neden bu kadar küçük (ama sıfırdan farklı)?
- • Evren niye (neredeyse) tamamen maddeden oluşmuş ama anti madde yok?

Karanlık Enerji

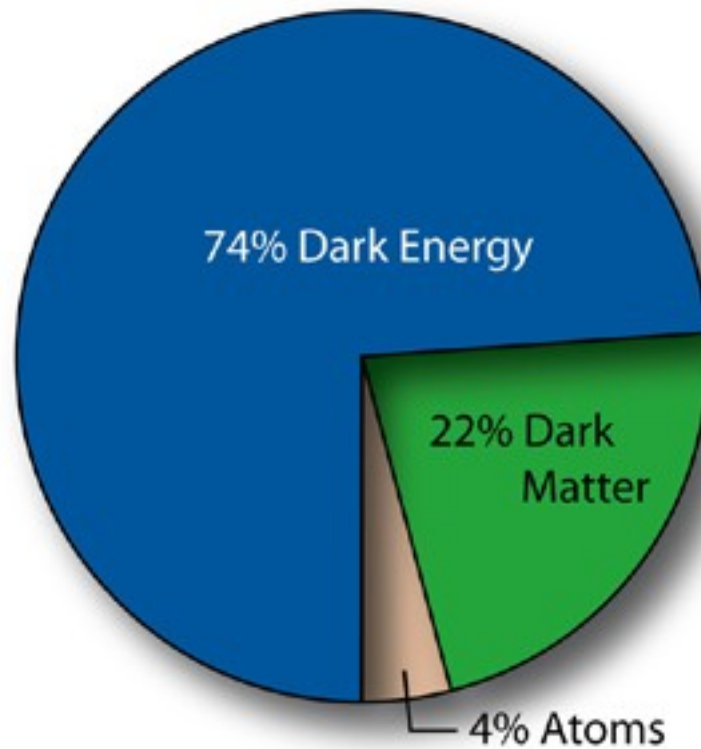
- Evren genişliyor: evrende gördüğümüz cisimler, ortalama olarak, bizden uzaklıkları ile orantılı bir hızda uzaklaşıyor
- • Bu hızın kütle çekiminden dolayı azalmasını bekleriz, ancak
- • Evrenin genişleme hızı artıyor, beklenenin aksine. Hızlanmanın sebebi *Karanlık Enerji*
-

Karanlık Madde

- Galaksiler beklenenden daha hızlı dönüyor:
- Görmediğimiz ama kütle çekimi olan bir madde var



Evrendeki Enerji Dağılımı



Standart Model Alternatifleri

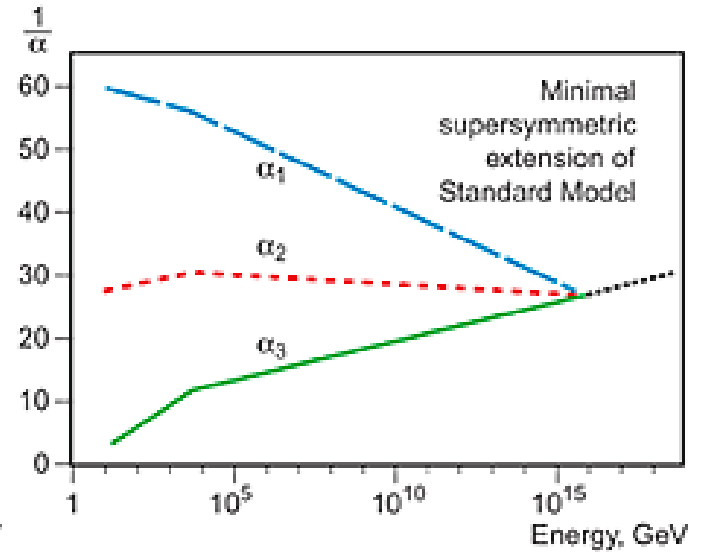
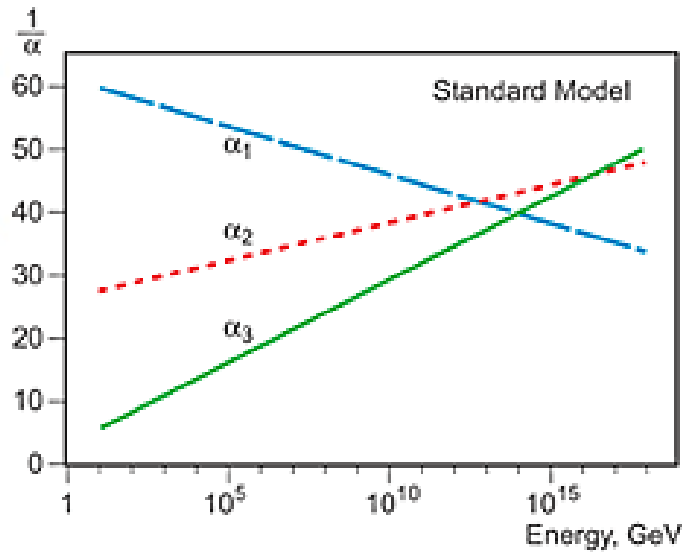
- Süpersimetri
- Büyük birleşik kuramlar
- Teknikolor
- Sicim Kuramı
- Ek boyutlar

Supersimetri

- Bozonlar ve fermiyonlar eş olarak gelirler ve fermiyonlar ile bozonları yer değiştirirsek doğanın yasaları değişmez.
- Kozmolojik sabitin küçüklüğünü açıklar, Higgs kütesinin küçüklüğünü açıklar, karanlık madde için bir parçacık öngörür.
- Ancak SMdeki parametre sayısını 3 katından daha fazlaya çıkarır, parçacıkların sayısını iki katına çıkarır (ki hiç birini gözlemlemedik)

Büyük Birleşik Kuramlar

- SMdeki Zayıf, EM ve kuvvetli kuvvetlerin şiddetleri, onları ölçtüğümüz enerji ile değişir.



Büyük Birleşik Kuramlar

- Şiddetleri eşit olduğu bir nokta var ise, o
- noktadan daha yüksek enerjilerde acaba tek bir kuvvet mi var?
- • Bildiğimiz en başarılı birleşik kuram Maxwell'in Electromanyetik kuramı
- • Noktasal bir parçacığın yarattığı manyetik alanın şiddetinin elektrik alanın şiddetine oranı v^2/c^2 'dir: düşük hızlarda, çok farklı şiddetleri varken yüksek hızlarda şiddetleri yaklaşık eşittir.

Büyük Birleşik Kuramlar

- Süpersimetrik birleşik kuramlarda, yüksek enerjilerde kütleler de aynı değere sahip olabilir.
- Serbest parametre sayısını azaltır
- Elektrik yükünün kesikli olması gerektiğini öngörür
- Modele göre, nötrinoların kütleli olması gerektiğini öngörür
- Ancak, pek çok birleşik kuram, protonun kararlı bir parçacık olmadığını da öngörür

Teknikolor

- Higgs parçacığı temel bir parçacık mıdır? Hayır
- • Kuvvetli kuvvetten çok daha kuvvetli bir etkileşim var, Higgs parçacığı bu etkileşimden dolayı
- • oluşan bir bağlı durumdur.
- Higgs'in kütlesinin neden küçük olduğunu açıklar
- • Eğer Higgs'i oluşturan parçacıkları t kuark ise, t kuark'ın neden ağır olduğunu ancak diğer parçacıkların niye daha hafif olduğunu açıklar
- Ancak henüz böyle bir etkileşim gözlemlenmedi
- Bütün parçacıkların gözlemlenen değerlerini tutturmak zor

Sicim Kuramı

- Temel parçacıkların noktasal olmadığını, çok küçük sicimler olduğunu öne sürer
- Kütle çekimi ile diğer etkileşimleri aynı teori içinde açıklar
- SMin simetrilerinin nereden kaynaklandığını açıklayabilir
- Parametre sayısı “bir”dir.
- Ancak evrenin en az $10+1$ boyutlu olması gerekir
- Öngörülerini test edebilmek için 10^{16} TeV enerjilerine çıkmamız lazım

Ek Boyutlar

- Sicim kuramının öne sürdüğü ek boyutlardan en azından biri, sicim kuramının öngördüğü kadar küçük değil ise....
- • Kütle çekiminin neden çok zayıf göründüğünü açıklar
- • 10^{16} GeV'den çok daha düşük enerjilerde, kütle çekimi dahil bütün kuvvetlerin birleştiğini öngörür(hızlandırıcılarda kütle çekiminin etkilerini görme ihtimalimiz olabilir)
- Kütlelerdeki farklılıkları açıklayabilen senaryolar, kolaylıkla oluşturulabilir

Sonuç

YOK....

Macera devam ediyor...