



TEMEL BİLİMLER ARAŞTIRMA ENSTİTÜSÜ
Teorik Parçacık Fiziği Yaz Okulu 2024
(TBAE TPF'24)



Kompozitlik / Preonlar

Atomaltı Parçacıkların Altyapısı

Ümit Kaya

Ankara Üniversitesi - Hızlandırıcı Teknolojileri Enstitüsü

12/07/2024

İçerik

- Giriş
- Standard Model'in Cevaplayamadığı Problemler
- Kompozitlik Nedir?
- Neden Kompozitlik?
- Kompozitlik Sınıflandırma
 - Kompozit Higgs Sektörü
 - Kuarkların ve Leptonların Kompozit Modelleri
 - Kompozit Zayıf Bozonlar
- Kompozit Modellerinin Deneysel Durumları

Giriş

- Glashow, Salam ve Weinberg tarafından $SU(2) \times U(1)$ grup yapısına sahip, iyi bilinen elektro-zayıf model, yapısı $SU(3)$ 'ye dayanan güçlü etkileşimler teorisi ile birleştirilmiş, elektro-zayıf ve renk etkileşimlerinin fenomenolojisini büyük bir başarıyla açıklayan "Standard Model" (SM) oluşmuştur. Ancak, ne kadar başarılı olsa da Standard Model'in hikâyesinin tamamı olamayacağını gösteren hâlâ cevaplanmamış bir takım sorular mevcuttur.
- Keşfedilen kuarklar ve leptonlar, SM bağlamında hesaplanamayan kütle durumlarının hiyerarşik yapısını veya spektrumunu gösterir. İkinci olarak, kuarklar ve leptonlar da üç neslin temsil edildiği aile benzeri bir sistemde sınıflandırılabilir. Fakat burada SM, "birden fazla neslin var olma nedeni" sorusunu ele alamaz.
- Higgs skaleri, teoride zayıf bozonlara kütle vermek ve Yukawa bağlaşımı (serbest parametreler olarak tanıtılmıştır) yoluyla fermiyonlara kütle vermek için gereklidir. Higgs'in kütlesi, teori tarafından sabitlenmemiştir. Ayrıca SM'nin grup yapısı neden bu şekildedir? Bir görüşe göre bu sorular yalnızca kütle çekimi hesaba katılarak cevaplanabilir; yani fizikle 10^{19} GeV ölçeğinde ilgilenmek gerekir. Bu yaklaşım (süper sicimler) teorik olarak zarif ve felsefi olarak güzel olmasına rağmen, bu aşamada somut hesaplamalarda kullanılması neredeyse imkansızdır üstelik test edilmesi çok zordur!
- Başka bir yaklaşım ise fiziği, Fermi ölçeğinden biraz daha yüksek ölçeklerde incelemek ve Standart Modelin altında yatan "**yakın**" bir teorinin bulunabileceğini ummak olabilir. Bu, altyapıyla ilgili geçmiş deneyimlerimizin ışığında makul (ve ihtiyatlı) bir varsayımdır. Eğer bu yaklaşım doğruysa, SM, pionların aracılık ettiği nükleonlar arasındaki güçlü etkileşim teorisinin güçlüler için etkili bir teori olmasıyla aynı şekilde, renkli gluonların aracılık ettiği kuark etkileşimlerini içeren daha derin bir yapı düzeyine sahip, etkili bir düşük enerji teorisidir.
- Bu daha temel kompozit model teorisi, SM'nin bazı eksikliklerini ideal olarak çözmeyi amaçlamaktadır.

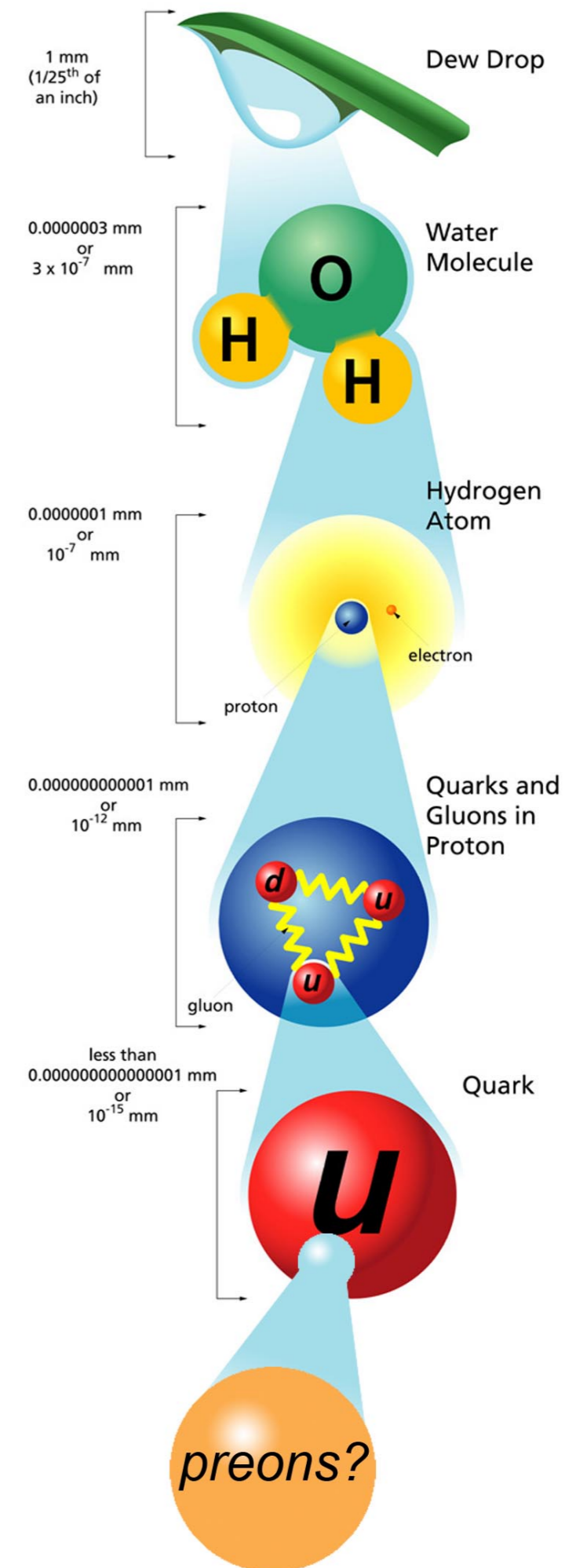
Standard Model'in Cevaplayamadığı Problemler

- Kuark ve lepton kütleleri ile Kobayashi-Maskawa karışım matrisi parametreleri, Higgs potansiyel parametreleri ve ayar birleştirme kuvvetleri SM'de belirlenmemiş parametreleri oluşturur.
- Kütleleri (çeşnileri) dışında aynı kopyalar olan kuarklar ve leptonlar neden üç ailede ortaya çıkıyorlar?
- Zayıf sektörde kuarklar ve leptonlar (kuark-lepton simetri) neden benzerdirler?
- Kuarklar ve leptonlar neden elektrik yükünün katlarını ($1/3$ 'ün) paylaşıyorlar?
- Her ailenin toplam elektrik yükünün yok olması tesadüf müdür?
- SM'nin, GUT'larda olduğu gibi bazı yüksek enerji ölçeklerinde daha yüksek bir simetrinin kendiliğinden bozulmasından kaynaklandığı düşünüldüğünde, Higgs sektörü ayar hiyerarşisi problemi yaşamaktadır. Higgs skalerinin temel olduğu kabul edilirse ve SM, GUT'tan kaynaklanmıyorsa, SM ile ilgili tüm problemler çözümsüz kalır.
- Üstelik SM'de bir ekonomi sorunu var çünkü üç neslin her birinde iki lepton ve iki kuark ve bunların anti-parçacıkları, ayrıca ayar bozonları ve bir Higgs skaleri var.
- Son olarak, zayıf etkileşim dışında tüm etkileşimler uzun menzilli olduğundan, zayıf etkileşim gerçekten daha temel bir kuvvetin kalıntı etkileşimi midir? Başka bir deyişle, zayıf ayar bozonları bileşik parçacıklar mıdır?

Kompozitlik Nedir?

- Elementlerin periyodik tablosu Rutherford deneyi ile açıklığa kavuşturuldu.
- Hadron enflasyonu kuark modeliyle sonuçlandı.
- Bu benzeşim ile SM fermiyonlarının preonik yapısının olduğu düşünülebilir.

Stages	1870s-1930s	1950s-1970s	1970s-2020s
Fundamental Constituent	Chemical Elements	Hadrons	Quarks, leptons
Inflation Systematic	Periodic Table	Eight-fold Way	Family Replication
Confirmed Predictions	New elements	New Hadrons	BSM particles
Clarifying Experiments	Rutherford	SLAC DIS	LHC or rather FCC?
Building Blocks	Proton, neutron, electron	Quarks	Preons?
Energy Scale	MeV	GeV	TeV?
Impact on Technology	Exceptional	Indirect	Exceptional



Neden Kompozitlik?

SM'de temel olarak adlandırılan parçacık sayısı:

Fermiyonlar

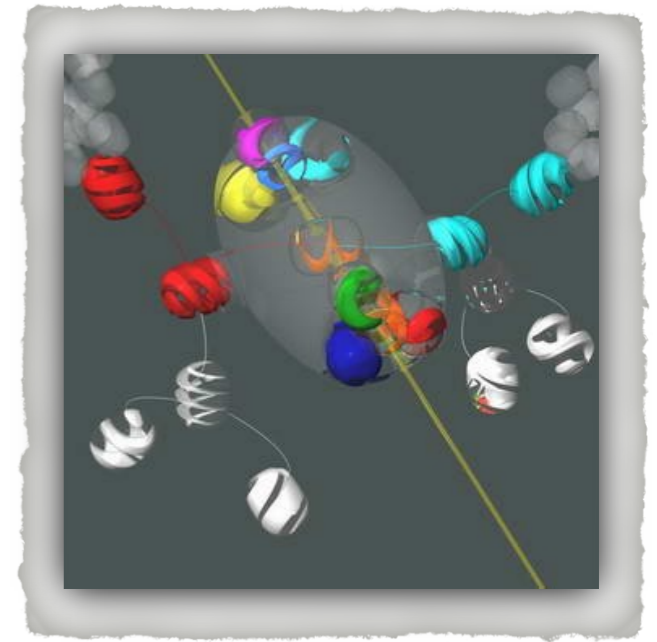
- 1 ailede: 2 lepton + (2 kuark x 3 renk) = 8 fermiyon
- 3 ailede: 8 x 3 = 24 fermiyon
- Her bir fermiyonun sağ- ve sol-ellisi var ise: 24 x 2 = 48 TOPLAM FERMİYON SAYISI

Bozonlar

- 8 gluon + γ + Z + W⁺ + W⁻ + H = 13 TOPLAM BOZON SAYISI

Temel olarak adlandırılan toplam 61 parçacık !!!

Daha temel bir teoriye ihtiyaç var...



Neden Kompozitlik?

- Kompozit modeller, **devam eden basitleştirme açısından** özellikle ilgi çekicidir ve doğayı en temel yapı taşları açısından tanımlar.
- Bu temel yapı taşlarına Pati ve Salam tarafından **PREON** adı verildi.
- **Aile tekrarı ve özellikle SM fermiyon karışımları** maddenin preonik yapısının göstergesi olarak kabul edilebilir.
- **Kuark-lepton bileşimi iyi bilinen bir BSM senaryosudur** ve preonik modeller şunu öngörür;
 - Uyarılmış leptonlar ve kuarklar, leptogluonlar, leptokuarklar, dikuarklar, dileptonlar, renkli altılı kuarklar vb...

Kompozitlik Sınıflandırma

- **Kompozit Higgs Sektörü ile ilgili Teoriler**
- **Kuarkların ve Leptonların Kompozit Modelleri**
- **Kompozit Zayıf Bozonlar**

Kompozitlik Sınıflandırma

Kompozit Higgs Sektörü ile ilgili Teoriler

- Estetik olarak, bu alanın beraberinde getirdiği serbest parametrelerle (fermiyonlara ve Higgs kütlesine bağlaşımlar) birleştirilmiş bir skaler alanın geçici olarak eklenmesi, hikayede çok daha fazlası olduğuna işaret ediyor gibi görünüyor.
- SM'nin Higgs sektörü teorik olarak iki ana nedenden dolayı tatmin edici değildir: Triviality sorunu ve doğallık (naturalness) sorunu. Bu konularla uğraşırken Higgs'in bileşik bir nesne olduğu fikrine kolayca yönlendiriliyoruz.
- **Technicolor teorileri**, W ve Z bozonlarının kütle kazanmasını sağlayan mekanizma olan elektro-zayıf ayar simetrisinin kırılmasını ele alır. İlk teknikrenk teorileri, isimlerine ilham veren - güçlü nükleer kuvvetin "renk" teorisi olan - kuantum renk dinamiği (QCD) üzerine modellenmişti. Gözlemlenen olayları açıklamak için temel Higgs bozonlarını tanıtmak yerine, yeni ayar etkileşimleri yoluyla W ve Z bozonları için dinamik olarak kütleler oluşturmak üzere teknirenk modeller tanıtıldı. Çok yüksek enerjilerde asimptotik olarak serbest olmasına rağmen, bu etkileşimler deneysel olarak incelenen daha düşük enerjilerde güçlü ve sınırlayıcı (ve dolayısıyla gözlemlenemez) hale gelmeliydi.
- Ancak 2012 yılında CERN LHC'de Higgs bozonunun keşfinden bu yana orijinal modeller büyük ölçüde reddedildi. Yine de Higgs bozonunun bileşik bir durum olması ihtimali varlığını sürdürüyor.

Kompozitlik Sınıflandırma

Kompozit Higgs Sektörü ile ilgili Teoriler

1. Triviality Sorunu:

- Trivialite sorunu, Standard Model'in Higgs alanının yeniden normalleştirme grup analizinden kaynaklanır. Bu sorun, Higgs alanının etkileşimleri enerji arttıkça çok büyük hale geldiğinde, teorinin matematiksel olarak tutarsız (birimsiz) veya "trivial" hale gelebileceğini öne sürer.
- Basitçe ifade etmek gerekirse, Higgs kendiliğinden etkileşimi (λ) yüksek enerjilerde büyük hale geldiğinde, kuantum düzeltmeleri teorinin öngörücü gücünü kaybettirebilir, bu da teorinin belirli bir enerji ölçeğine kadar geçerli olabileceği anlamına gelir.
- Trivialite sorunu, Standard Model'in Higgs sektörünün tamamlanmış bir teori olmayabileceğini ve geçerliliğini korumak için daha yüksek enerji ölçeklerinde yeni fizik gerektirebileceğini gösterir.

2. Doğallık (Naturalness) Sorunu (Hiyerarşi Problemi):

- Doğallık sorunu, Standart Model'in Higgs bozonunun kütlelerini Planck ölçeği (kuantum kütleçekimi etkilerinin belirgin hale geldiği yer) ile karşılaştırıldığında açıklamak için gereken ince ayar gerektiğini ifade eder.
- Higgs bozonunun kütleleri, diğer parçacıklarla (özellikle üst kuarkla) etkileşimleri nedeniyle büyük kuantum düzeltmeleri alır, bu da kütlelerini daha yüksek değerlere sürükler.
- Higgs bozonunun kütlelerini stabilize edecek bir mekanizma olmadan (örneğin, süpersimetri veya diğer yeni fizik), gözlemlenen Higgs bozonunun kütleleri, yeni fiziklerin ortaya çıkması beklenen enerji ölçeklerinde (örneğin, Planck ölçeği) doğal olarak hafif görünür.
- Bu ince ayar problemi, Higgs kütlelerini kuantum düzeltmelere karşı koruyacak ve teorinin doğallığını sağlayacak şekilde, TeV ölçeği altında veya onunla birlikte ortaya çıkan yeni fizik arayışlarını teşvik eder.

Bu sorunlar, parçacık fiziğinin tam teorisi olarak Standart Model'in sınırlılıklarını işaret eder. Bu sorunlar, süpersimetri gibi Standart Model'in ötesinde yeni fizik arayışlarını ve belki de trivialite sorununu hafifletmek için teorinin geçerliliğini daha yüksek enerji ölçeklerine uzatabilecek mekanizmaları motive eder.

Kompozitlik Sınıflandırma

Kuarkların ve Leptonların Kompozit Modelleri

KUVVET	YAPI	
	<i>Bileşim</i>	<i>Sade</i>
Elektriksel	Molekül	Atom
Güçlü	Çekirdek	Nükleon
Süper güçlü	Kuark	Preon

C. S. Kalman

- Nükleer Fizik'te etkileşimler, bozunumlar ve kütlelerin problemi renk etkileşimlerinin “Kuark Modeli” ile çözülmüştür. Kısa erimli nükleer kuvvetler, uzun erimli nükleer kuvvetin kalıntısı olarak ortaya çıkmıştır. Yukarıdaki Tablo benzer düşünce ile Kalman tarafından oluşturulmuştur.
- Benzer şekilde, SM'de, kısa menzilli kalan tek kuvvet, yani zayıf etkileşim, eşlik eden ayar simetrileriyle birlikte başka bir yapıya karşılık gelebilir.
- Şu anda bu sorunları büyük zorluklar olmadan tam olarak çözen hiçbir preon modeli yoktur. Preonlar için de deneysel bir kanıt yoktur ve onların da kuarklar gibi bağlı durumda olduklarını varsaymakta özgürüz ve sınırlayıcı kuvvete sahip hiperrenk etkileşimi adını verebiliriz.
- Tüm modeller, preonik etkileşimler için Abelian olmayan ayar teorisini kullanıyor. Başka bir yol ile hapis teorisini inşaa etmenin bir yolu bulunmuş değildir.
- Fermiyonları oluşturmak için, bozonik veya fermiyonik preonların veya tek sayıda fermiyonik preonların kombinasyonlarına sahip olmak zorundayız.

Kompozitlik Sınıflandırma

Kuarkların ve Leptonların Kompozit Modelleri

Kuarklar ve leptonlar yani fermiyonlar, spin 1/2 parçacıklardır.

Fermiyon Skaler

Spin 1/2 + Spin 0 \rightarrow Spin 1/2

3 Fermiyon

Spin 1/2 + Spin 1/2 + Spin 1/2 \rightarrow Spin 1/2

Modeller

Haplon Modeli (Fritzsch-Mandelbaum)

Rishon Modeli (Harari-Seiberg-Shupe)

Terazawa WCH Modeli

Abbott-Farhi Modeli

Greenberg-Mohapatra- Yasue Modeli

Matsushima Modeli

Yasue Modeli

Geng Marshak Modeli

Celikel, Kantar ve Sultansoy Modeli

Kaya, Oner ve Sultansoy Modeli

Modern Preon Modelleri: Trinity ve Helon Model

Kompozitlik Sınıflandırma

Kuarkların ve Leptonların Kompozit Modelleri

Haplon Modeli (Fritzsch-Mandelbaum)

- Bu, hiperrenk ayar grubunun SU(N) olduğu ve preonların temel veya eşlenik temsilinde olduğu bir prototip fermiyon-boson modelidir.
- Böylece bozonik ve fermiyonik peronların ürünleri bir SU(N) hiper-renk singleti olur. Preonlar, $\pm e/2$ yüklü renksiz fermiyonlardan oluşan bir SU(2) ikilisi (α, β) ve bir üyenin (y) renksiz olduğu ve geri kalanının lepton numarası taşıdığı varsayıldığı bir skaler dörtlüdür (x,y). (x_1, x_2, x_3) renk yükü taşır. Bu kombinasyon, bir nesil için doğru sayıları verir.

$$\nu = (\alpha y) \quad e^- = (\beta y) \quad u = (\alpha x) \quad d = (\beta x)$$

- Rengi atamanın alternatif bir yolu vardır - tüm preonlar renk üçlüsü olabilir, böylece renk ayrışması şunu verir:

$$3 \otimes \bar{3} = 1 \oplus 8 \quad \bar{3} \otimes \bar{3} = 3 \oplus \bar{6}$$

- Bu model sol ve sağ eli nötrinolarına sahiptir.

Kompozitlik Sınıflandırma

Kuarkların ve Leptonların Kompozit Modelleri

Haplön Modeli

Fritzsch-Mandelbaum Preon belirlemesi

Preon	Yük	Hiper-renk SU (N)	Renk
α	$e/2$	N	1 ya da $\bar{3}$
β	$-e/2$	N	1 ya da $\bar{3}$
x	$e/6$	\bar{N}	3 ya da $\bar{3}$
y	$-e/2$	\bar{N}	1 ya da 3

$$W^+ = (\alpha\bar{\beta}) \quad W^- = (\bar{\alpha}\beta) \quad Z = (\alpha\bar{\alpha}), (\beta\bar{\beta})$$

$$W_3 = 1/\sqrt{2}(\alpha\bar{\alpha} + \beta\bar{\beta}) \quad W_0 = 1/\sqrt{2}(\alpha\bar{\alpha} - \beta\bar{\beta})$$

gluonlar, foton ve hiper bozanlar temel olarak kalıyor.

Kompozitlik Sınıflandırma

Kuarkların ve Leptonların Kompozit Modelleri

Rishon Modeli (Harai-Seiberg-Shupe)

- Bu, yalnızca fermiyonik preonları kullanan bir modeldir. T (yük $e/3$) ve V (yük 0), SU(3) renk ve SU(3) hiper-renk olarak 2 peron belirlenmiştir.

$$3 \otimes 3 \otimes 3 = 1 \oplus 8 \oplus 8 \oplus 10 \quad 3 \otimes 3 \otimes \bar{3} = 3 \oplus \bar{6} \oplus \bar{3} \oplus 15$$

$$e^+ = (TTT) \quad \nu = (VVV) \quad u = (TTV) \quad \bar{d} = (TVV)$$

- Sağ-elli nötrino var.

Preon	Yük	Hiper-renk	Renk
T	$e/3$	3	3
V	0	3	$\bar{3}$

Kompozitlik Sınıflandırma

Kuarkların ve Leptonların Kompozit Modelleri

Terazawa WCH Modeli

- Bir çok araştırmacı, W zayıf SU(2) doublet, C SU(4) renkli lepton, H aile numarası (SU(3)_{aile} triplet) temsil edilen 3 fermiyonik preonun olduğu modeli ele almıştır. Tüm kuvvetler $q\bar{q}$ ve $l\bar{l}$ den oluşan kütesiz bozanlar tarafınan taşınır. W, C ve H'in bağlaşımı belirtilmemiştir.
- Akama ve Hattori, kütleleri hafif tutmak için Kiral simetriyi kullanarak 6 fermiyon etkileşimini tanımlamıştır. Fakat preonların hapsi için bir mekanizma ve kuark lepton kütlelerini ilişkilendirilmesini veya tahminini tanımlamamıştır.
- Terazawa 3 aileli durum için top kuark kütesini 134 GeV'de öngören minimal kompozit bir model kullanmıştır. Kütle spektrumu bu modelde de öngörülemedi. Daha sonra yaptığı bir çalışmada kuarkların ve leptonların kütle spektrumlarını üretmek için kütle toplam kurallarını kullanmıştır. 6 kuark ve 3 leptonun kütesini üretmek için 9 bağımsız denklem gerekiyor. Nötrinolar da peronlardan oluşuyor fakat, nötrininonun kütesiz veya neredeyse kütesiz olması durumunun altkuarkların bilinmeyen dinamiklerinin Kiral değişmezliğinden kaynaklandığını öne sürmüştür. Kompozit modelden elde edilen kütle toplam kurallarının denklemleri:

$$\left(\frac{\sum m_f^2}{8N_g}\right)^{1/2} = \frac{m_W}{\sqrt{3}} \quad m_d^{1/2} - m_u^{1/2} = m_e^{1/2} \quad m_s^{1/2} - m_u^{1/2} = m_\mu^{1/2} \quad m_s^{1/2} - m_u^{1/2} = m_\tau^{1/2}$$
$$\frac{m_c^{1/2}}{m_u^{1/2}} - \frac{m_s^{1/2}}{m_d^{1/2}} = \frac{m_\mu^{1/2}}{m_e^{1/2}} \quad \frac{m_b^{1/2}}{m_s^{1/2}} - \frac{m_t^{1/2}}{m_c^{1/2}} = \frac{m_\tau^{1/2}}{m_\mu^{1/2}}$$

Kompozitlik Sınıflandırma

Kuarkların ve Leptonların Kompozit Modelleri

Abbott-Farhi Modeli

- Bu model fermiyonik ve bozonik peronlardan oluşuyor. Preonlar SU(2) doubleti oluyor ve burada SU(2) preonlar arasındaki herhangi bir bozunuma uğramayan hapis kuvvetini temsil ediyor.
- Sol-elli kuarklar ve leptonların bir ailesi 2 fermiyon doubleti ve 1 skaler doublet ile oluşturulabiliyor. Sağ-elliler aynı şekilde yapılabilir veya temel olarak varsayılabilir.
- Aileler bu şekilde oluşturulabilir ve SM alternatif bir isimle Strongly Coupled Standard Model (SCSM) olarak adlandırılıyor.
- Modelin süpersimetrik versiyonu da önerilmiş. Fajfer ve Tadic, $\bar{5}$ ve 10 gösteriminde preon süper alanlarla birlikte süpersimetrik SU(5) kompozit model üzerinde çalışmıştır. Çarpım gösterimleri, kütleli nötrinoların yanı sıra yalnızca standard elektro-zayıf teoride ihtiyaç duyulan bağlı durumları içeriyor.
- Sağ elli durumlar temel olarak (ya da pre-preonik teorinin bağlı durumları olarak) varsayılmıştır. Diğer ailelerin, ya preon çoklu kopyalarının yapılması ya da bağlı durumların bir tür uyarılması nedeniyle meydana geldiği varsayılmaktadır.
- Her ne kadar teori spektrum tahminleri için kullanılamasa da, çok yüksek enerji deneylerinde yeni parçacıkları tahmin edebiliyor.

Kompozitlik Sınıflandırma

Kuarkların ve Leptonların Kompozit Modelleri

Greenberg-Mohapatra-Yasue Model

- Bu modelde, etkileşimin düşük (fenomenolojik olarak ilginç) enerjilerde sınırlandığı varsayılan hapis ayar grubu olarak $SU(6)_{HC}$ sahiptir. Preonlar $SU(6)$ temel gösterimindeki 6 kiral ve 6 anti-kiral süperalandan meydana gelmiştir.
- Kiral simetri grubu G , $U(6) \times U(6) \times U(1)_R$ (son $U(1)$ grubu süpersimetrik R simetrisidir.) dir. Anomalilerin G 'nin G' a kırılmasına ve hiperrenk etkileşiminin G' in, $H = SU(4)_L \times SU(2)_L \times SU(4)_R \times SU(2)_R$ olacak şekilde bozunmasına sebep olacağı varsayımını kullanır. Bu, quasi-Goldstone fermiyonları üretir ve tam olarak bir nesil kuarklar, leptonlar ve bunların anti-parçacıkları ile diğer fermiyonların kütsesiz kalmasını sağlar.
- Anomali eşleşmesi dikkate alındıktan sonra, t'Hofft denklemlerinin çözümleri tam olarak üç aile olduğunu göstermektedir. Bunlardan ikisi yalnızca kiral simetri yoluyla kütsesiz tutulur. Ancak, önemli bir sorun olan fermiyonların kütleleri ele alınmıyor; kuarklar ve leptonlar kütsesiz kalıyor.
- Volkas ve Joshi tarafından bu modelin etkin lagranjiyeni ele alınmıştır. Kütle oluşumunu veya simetri kırılmasını bile incelemeyen, quasi-Goldstone fermiyon oluşumunu iki madde oluşumuyla eşleştiriyorlar.

Kompozitlik Sınıflandırma

Kuarkların ve Leptonların Kompozit Modelleri

Matsushima Model

- $SU(3)_C \times SU(2)_L \times SU(2)_R$ 'nin $(3, 2, 2)$ gösteriminde her ikisi de $e/6$ yüke sahip bir spin $1/2$ preon ve bir spin 0 preonun süpersimetrik çiftlerini kullanıyor. Bu modelde zayıf etkileşim kalıntı etkileşim olarak sayılıyor.
- g_L ve g_R bağlaşımlarının bağımsızlığından dolayı kompozitlik ölçeği Λ_L , Fermi ölçeğine yakındır ve Λ_R , GUT ölçeğine yakındır.
- Sol elli nötrinolar hafif bir kütleyle sahipken sağ elli nötrinolar ağır kütleyle sahip oluyor. Sadece bir aileli durum ele alınmış ve diğerleri ek preon varlığında ortaya çıkıyor. Aile yapısı üzerinde daha fazla durulmamış ve diğer önemli bir husus kütle spektrumunu ile ilgilenilmemiştir.

Kompozitlik Sınıflandırma

Kuarkların ve Leptonların Kompozit Modelleri

Yasue Model

- N renkleri ve M çeşniyle birlikte bir süpersimetrik QCD teorisi ele alınmıştır. Fermiyonlar $G = SU(M)_L \times SU(M)_R \times U(1)_V \times U(1)_A$ grubunun kiral simetriye sahip G' grubuna kırınımıyla oluşuyor. Böylece QGF'lar G 'nin G' a kırınımı ile üretilirler. Ayrıca G' üzerindeki anomal eşleştirme koşulları dikkate alındıktan sonra kompozit kiral fermiyonlar üretilir.
- Kuarklar QGF'ler olarak, leptonlar ise kompozit kiral fermiyonlar olarak üretilir. Kuark ve lepton kütleleri, süpersimetri kırılma ölçeğinin SQCD ölçeğine oranı cinsinden bulunur
- Dört nesil ?? dahil edilebilir ancak ince ayar yapılması gerekir. Kütleli nötrinolarla başa çıkılmaz.

Kompozitlik Sınıflandırma

Kuarkların ve Leptonların Kompozit Modelleri

Geng ve Marshak Model

- Geng ve Marshak preon temsillerinin, preonlar için hiçbir kütle terimine izin verilmeyecek şekilde olduğu, yani doğası gereği kiral olduğu, tamamlayıcılığı karşılayan bir model kullanır. Bu şekilde, bağlı durumlar kütesizdir ve kalıcı kütle koşulu otomatik olarak karşılanır.
- SU(N) preon modeli ele alınmıştır. (Özellikle SU(16), \square temel gösteriminde 20 preon ve $\square\square$ 2-tensör simetrik gösteriminde 1 preon.
- Küresel simetri SU(20) x U(1)'dir ve $H = SU(16) \times SU(4) \times U(1)$ 'e bölünür. Preon anomalileriyle eşleşen sınır durumları (16, 4) ve (120, 1)'dir. (16, 4) durumları 16 kuark ve leptondan oluşan 4 aile sağlar.
- Göz önünde bulundurdukları alternatif bir model, N=15'e dayalı olup, egzotik olmayan 3 kuark ve lepton ailesini tahmin etmektedir. Bu modelin sorunları arasında SU(4) ailesi simetrisini kırarak herhangi bir yöntemin bulunmaması ve istenmeyen (120, 1) ekzotiklerin yer almasıdır. Kompozitlik ölçeğini $\Lambda_c \gg 1$ TeV olarak kabul ediyorlar, böylece üretimde kütle bölünmesi Λ_c 'ye kıyasla küçük olduğundan sorunlar çözülebilir.

Kompozitlik Sınıflandırma

Kuarkların ve Leptonların Kompozit Modelleri

Kaya, Oner, Sultansoy Minimal Fermiyon-Skaler Model

Çizelge 3: Fermiyonik ve Skaler Preonların Elektrik Yükleri $|Q_{F,S}| \leq 1$

Preonlar	Elektrik Yükleri				
	Model I	Model II	Model III	Model IV	Model V
F_1	0	1/3	1/2	2/3	1
F_2	-1	-2/3	-1/2	-1/3	0
S_1	0	1/3	1/2	2/3	1
S_2	1/3	0	-1/6	-1/3	-2/3

$$\nu_e = (F_1 \bar{S}_1) \quad e = (F_2 \bar{S}_1) \quad d = (\bar{F}_1 \bar{S}_2) \quad u = (\bar{F}_2 \bar{S}_2)$$

Çizelge 3'te verilen sete karşılık gelen beklenmedik ek fermiyonların renk ve elektrik yükleri

Ek Parçacıklar	Renk (C)	Elektrik Yükleri				
		Model I	Model II	Model III	Model IV	Model V
$F_1 S_2$	1	-1/3	1/3	2/3	1	5/3
$F_2 S_2$	1	-4/3	-2/3	-1/3	0	2/3
$F_T S_T$	3	0	-2/3	-1	-4/3	-2
$F_2 S_T$	3	1	1/3	0	-1/3	-1

Kompozitlik Sınıflandırma

Kuarkların ve Leptonların Kompozit Modelleri

Kaya, Oner, Sultansoy Minimal Fermion-Skaler Model

2Fermiyon-1Skaler Model için Preonların Kuantum Sayıları

Preon	Renk (C)	Elektrik Yükü (Q)	Spin (S)
F_1	3	1/6	1/2
F_2		-5/6	
S		1/6	0

$$Q_{F_1} + Q_{\bar{S}} = 0, C_{F_1} \otimes C_{\bar{S}} = 3 \otimes \bar{3} = 1 \oplus 8 \rightarrow \nu_e \equiv F_1 \bar{S}$$

$$Q_{F_2} + Q_{\bar{S}} = -1, C_{F_2} \otimes C_{\bar{S}} = 3 \otimes \bar{3} = 1 \oplus 8 \rightarrow e \equiv F_2 \bar{S}$$

$$Q_{\bar{F}_1} + Q_{\bar{S}} = -1/3, C_{\bar{F}_1} \otimes C_{\bar{S}} = \bar{3} \otimes \bar{3} = 3 \oplus \bar{6} \rightarrow d \equiv \bar{F}_1 \bar{S}$$

$$Q_{\bar{F}_2} + Q_{\bar{S}} = 2/3, C_{\bar{F}_2} \otimes C_{\bar{S}} = \bar{3} \otimes \bar{3} = 3 \oplus \bar{6} \rightarrow u \equiv \bar{F}_2 \bar{S}$$

$$\nu_\mu \equiv (F_1 \bar{S})(S \bar{S})$$

$$\mu \equiv (F_2 \bar{S})(S \bar{S})$$

$$s \equiv (\bar{F}_1 \bar{S})(S \bar{S})$$

$$c \equiv (\bar{F}_2 \bar{S})(S \bar{S})$$

$$\nu_\tau \equiv (F_1 \bar{S})(S \bar{S})^2$$

$$\tau \equiv (F_2 \bar{S})(S \bar{S})^2$$

$$b \equiv (\bar{F}_1 \bar{S})(S \bar{S})^2$$

$$t \equiv (\bar{F}_2 \bar{S})(S \bar{S})^2$$

Üst ailelerin eldesi için yeni bir öneri:

$$(F \bar{S})(S \bar{S}) \longrightarrow (1 \oplus 8)(1 \oplus 8) = 1 \oplus 8 \oplus 8 \oplus 1 \oplus 8 \oplus 8 \oplus 10 \oplus \bar{10} \oplus 27$$

Kompozitlik Sınıflandırma

Kuarkların ve Leptonların Kompozit Modelleri

Kaya, Oner, Sultansoy Minimal Fermiyon-Skaler Model

- 2F2S Modellerde SM fermiyon sayısı kadar ek parçacık geliyor.
- Minimal Modelde sadece SM fermiyonları elde ediliyor.
- 2F2S Modeller için birden çok peron seti tanımlama ihtimali var.
- Minimal Modelde ise tanımlanan peron setine ait tek bir yük dağılımı var.
- 2F2S Modellerde preon setleri tanımlamak için $|Q_{F,S}| \leq 1$ şartı koyulur.
- Minimal Modelde böyle bir koşul yok.

Kompozitlik Sınıflandırma

Kuarkların ve Leptonların Kompozit Modelleri

Modern Preon Modelleri

- Preon Trinity:

Preon üçlüsü modeli hem haplon hem de rishon modellerinden fikir alır [13]. Bu modelde Dugne, Fredriksson ve Hansson, haplon modelini üç fermiyonik spin 1/2 preon ve üç bozonik spin 0 preondan oluşan bir modele genişleterek, basit simetrileri korurken bilinen tüm kuarkları ve leptonları oluşturabileceğimizi öne sürüyorlar. Fermiyonik preonlara α , β ve δ , bozonik preonlara ise x, y ve z adı verilir.

charge	+e/3	-2e/3	+e/3
spin 1/2 preons	α	β	δ
spin 1 antipreons	$x = (\bar{\beta}\bar{\delta})$	$y = (\bar{\alpha}\bar{\delta})$	$z = (\bar{\alpha}\bar{\beta})$

	α	β	δ
$x = (\bar{\beta}\bar{\delta})$	u	s	c
$y = (\bar{\alpha}\bar{\delta})$	d	X	b
$z = (\bar{\alpha}\bar{\beta})$	t/h	g	t/h

	α	β	δ
$\bar{x} = (\beta\delta)$	ν_e	e^-	$\bar{\nu}_{\kappa 1}$
$\bar{y} = (\alpha\delta)$	μ^+	$\bar{\nu}_{\mu}$	κ^+
$\bar{z} = (\alpha\beta)$	ν_{τ}	τ^-	$\bar{\nu}_{\kappa 2}$

	α	β	δ
$\bar{\alpha}$	Z^0, Z'	W^-	Z^*
$\bar{\beta}$	W^+	Z', Z^0	W'^+
$\bar{\delta}$	Z^*	W'^-	Z', Z''

Kompozitlik Sınıflandırma

Kuarkların ve Leptonların Kompozit Modelleri

Modern Preon Modelleri

- **Helon Model:**

Bu model çoğunlukla Rishon modeline dayanır ve ilk etapta modeldeki bir nesil kuark ve leptonların yanı sıra ayar bozonları ve bazı daha ağır lepton ve kuarkların tanımlarını vererek diğer nesillere nasıl genişleyebileceğini gösterir. Bu modeldeki preon eşdeğerine helon denir ve her helon iki “tweedle” dan oluşur. Bu tweedle lar, $\pm\pi$ boyunca bir düğüm şeridinde bükülmeler olarak temsil edilir; bunlara sırasıyla π için tweedle-dum ve $-\pi$ için tweedle-dee adı verilir ve U ve E olarak temsil edilir. Ayrıca Ω gösteriminde yeni bir kuantum sayısı tanımlar.

	UU	EU = UE	EE		H ₊	H ₀	H ₋	fermion	Ω
Charge	+e/3	0	-e/3	H ₊ H ₊	e ⁻	$\frac{u_b}{3}$	-	e ⁺	+1
Helon	H ₊	H ₀	H ₋	H ₊ H ₀	$\frac{u_g}{3}$	$\frac{\bar{d}_r}{3}$	-	u	$+\frac{1}{3}$
				H ₀ H ₊	$\frac{u_r}{3}$	$\frac{\bar{d}_g}{3}$	-	\bar{d}	$-\frac{1}{3}$
				H ₀ H ₀	$\frac{\bar{d}_b}{3}$	ν_e	$\frac{d_b}{3}$	ν	-1
				H ₀ H ₋	-	$\frac{d_g}{3}$	$\frac{\bar{u}_r}{3}$	e ⁻	-1
				H ₋ H ₀	-	$\frac{\bar{u}_g}{3}$	$\frac{d_r}{3}$	\bar{u}	$-\frac{1}{3}$
				H ₋ H ₋	-	$\frac{\bar{u}_b}{3}$	e ⁺	d	$+\frac{1}{3}$
								$\bar{\nu}$	+1

Kompozitlik Sınıflandırma

Kompozit Zayıf Bozonlar

- Zayıf sektör, SM'nin gelişiminde karşılaşılan teorik sorunların ana kaynaklarından biridir. Yeniden normalize edilebilir bir teoride bu sektördeki ayar bozonlarına ihtiyaç duyulması, Higgs'in ve onunla ilişkili "sorunların" tanıtılmasını gerektirir. Λ cut-off ölçeğine sahip etkili bir teoriyle karşı karşıya olduğumuzu varsayarsak, yeniden normalize edilebilirlik konusu çözülebilir.
- Zayıf bozonların temel olmadığını, bileşenleri bilinmeyen uzun menzilli etkileşimlerle birbirine bağlanan kompozit nesnelere olduğunu varsayabiliriz; zayıf etkileşim bir kalıntı kuvvettir. Bu orijinal olmayan fikrin iyi bir tarihsel öncüsü var; atom fiziğindeki Van der Waals kuvveti ve nükleer kuvvetin her ikisinin de uzun menzilli kuvvetlerin artık etkileşimleri olduğu ortaya çıktı. Ek olarak, zayıf etkileşim bariz bir şekilde tek kısa menzilli etkileşimleri sürdürüyor.

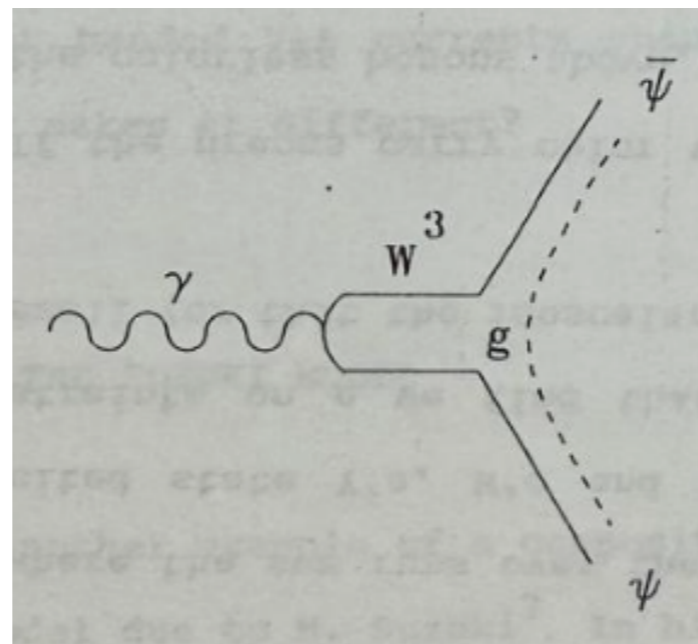
Kompozitlik Sınıflandırma

Kompozit Zayıf Bozonlar

- Fritzsich ve Mandelbaum'un haplon tipi modeli içinde çalışırsak, düşük enerjilerde W vektörünü şu şekilde temsil edebiliriz:

$$\begin{pmatrix} W^+ \\ W^3 \\ W^- \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{\beta}\alpha \\ (\bar{\alpha}\alpha + \bar{\beta}\beta)/\sqrt{2} \\ \bar{\alpha}\beta \end{pmatrix}$$

- SM'de foton ve W^3 karışımı kendiliğinden simetri kırınımı ile sağlanıyor. Burada foton yükü fermiyon ile W^3 aracılığıyla bağlaşım yapıyor. Bu $\gamma - W^3$ geçişinin dinamik olarak tanımı olur.



Kompozitlik Sınıflandırma

Kompozit Zayıf Bozonlar

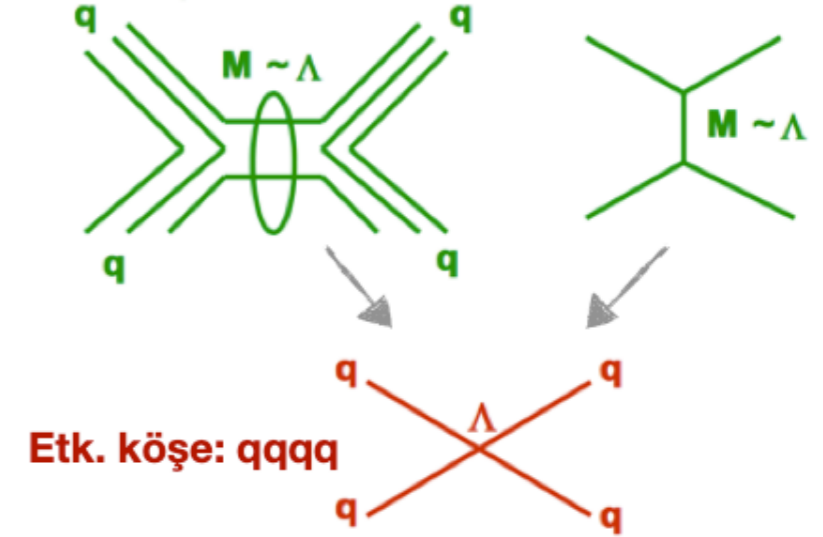
- Zayıf bozonların kompozit olduğu bir modele parite ihlalinin dahil edilmesi kolay değildir. Haplon modelinde W 'ler, sağ eli veya sol eli fermiyonların bileşenlerinden (preonlardan) yapılabilir. Dolayısıyla, bazı W 'lerin sol eli fermiyonlarla eşleşeceğini ve diğerlerinin sağ eli fermiyonlarla eşleşerek hiperrenk teklileri için $SU(2)_L \times SU(2)_R \times U(1)$ sol-sağ global simetrisini vereceği beklenir.
- Deneysel kanıtlar, W 'lerin sağ eli fermiyonlara olan bağlaşımlarının onları teoriden ayıracak kadar büyük olmasını gerektirir. Ayrıca sağ-bağlaşımlı W 'lerin olmadığını da varsayabiliriz, ancak bu, preonik sol-sağ simetrisi nedeniyle çok zor olacaktır. Sağ bağlaşımlı W 'ler için büyük bir kütle oluşturmanın bir yöntemi, bileşik Higgs senaryosunda W -Higgs bağlaşımdaki sol-sağ simetrisini kırmak olabilir. Ancak bu, neden sağ eli $V+A$ akımlarının seçilmesi gerektiğini açıklamıyor.

Suzuki Model

- Bu modelde W ve Z , yalnızca global $SU(2)$ simetrisine sahip bir teoride ağır fermiyonik preonların bileşik durumlarıdır. $SU(2) \times U(1)$ simetrisi, W 'ye kütle veren ve W^3 'i $U(1)$ vektör bozonuyla karıştırarak Z 'yi ve fotonu veren $U(1)$ 'e kırılır.
- Bu model ilginç olmasına rağmen problemsiz değildir. Lagranjiyen, kiral olarak simetrik olduğundan bu modelde parite ihlali yoktur. Bir diğer önemli sorun ise kuarkların, leptonların ve bunların birleşmelerinin teoriye dahil edilmesidir.

Kompozit Modellerin Deneysel Durumları

- Kuark-lepton kompozitliği araştırmaları
 - Kontak etkileşmeler ($qqqq, qqll, llll$)
- Uyarılmış durumlar
 - Uyarılmış fermiyonlar (kuark q^* , lepton l^* ve nötrino ν^*)
- Yeni parçacıklar / yeni etkileşmeler
 - LQ, DQ, preon bağlı durumlar



$e^{*\pm}$ — excited electron

- Mass $m > 103.2$ GeV, CL = 95% (from $e^* e^*$)
- Mass $m > 5.600 \times 10^3$ GeV, CL = 95% (from $e e^*$)
- Mass $m > 356$ GeV, CL = 95% (if $\lambda_\gamma = 1$)

$\mu^{*\pm}$ — excited muon

- Mass $m > 103.2$ GeV, CL = 95% (from $\mu^* \mu^*$)
- Mass $m > 5.700 \times 10^3$ GeV, CL = 95% (from $\mu \mu^*$)

$\tau^{*\pm}$ — excited tau

- Mass $m > 103.2$ GeV, CL = 95% (from $\tau^* \tau^*$)
- Mass $m > 4.600 \times 10^3$ GeV, CL = 95% (from $\tau \tau^*$)

ν^* — excited neutrino

- Mass $m > 1.600 \times 10^3$ GeV, CL = 95% (from $\nu^* \nu^*$)
- Mass $m > 213$ GeV, CL = 95% (from $\nu^* X$)

q^* — excited quark

- Mass $m > 338$ GeV, CL = 95% (from $q^* q^*$)
- Mass $m > 6700$ GeV, CL = 95% (from $q^* X$)

Kompozit Modellerin Deneysel Durumları

ATLAS

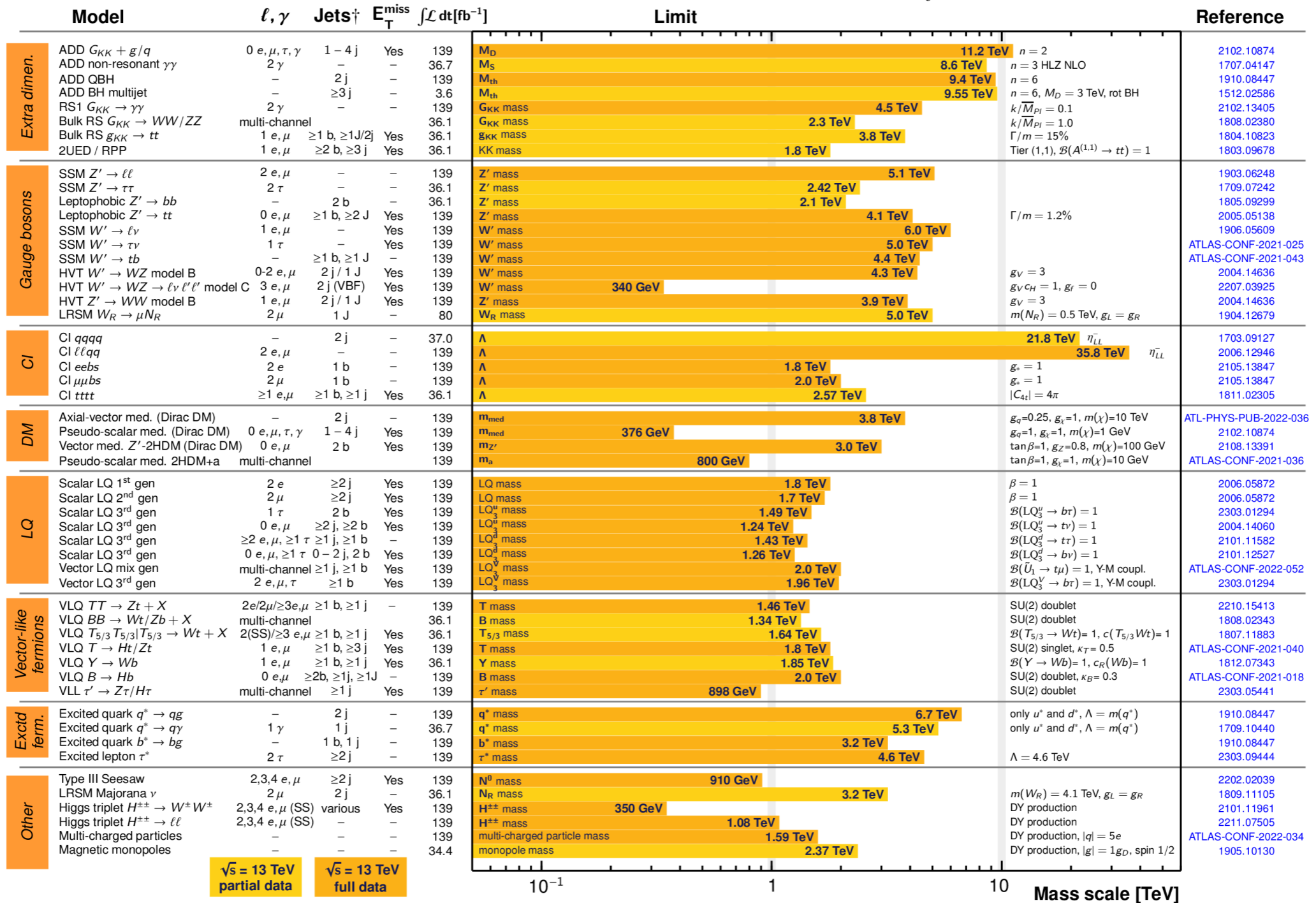
ATLAS Heavy Particle Searches* - 95% CL Upper Exclusion Limits

Status: March 2023

ATLAS Preliminary

$$\int \mathcal{L} dt = (3.6 - 139) \text{ fb}^{-1}$$

$$\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$$

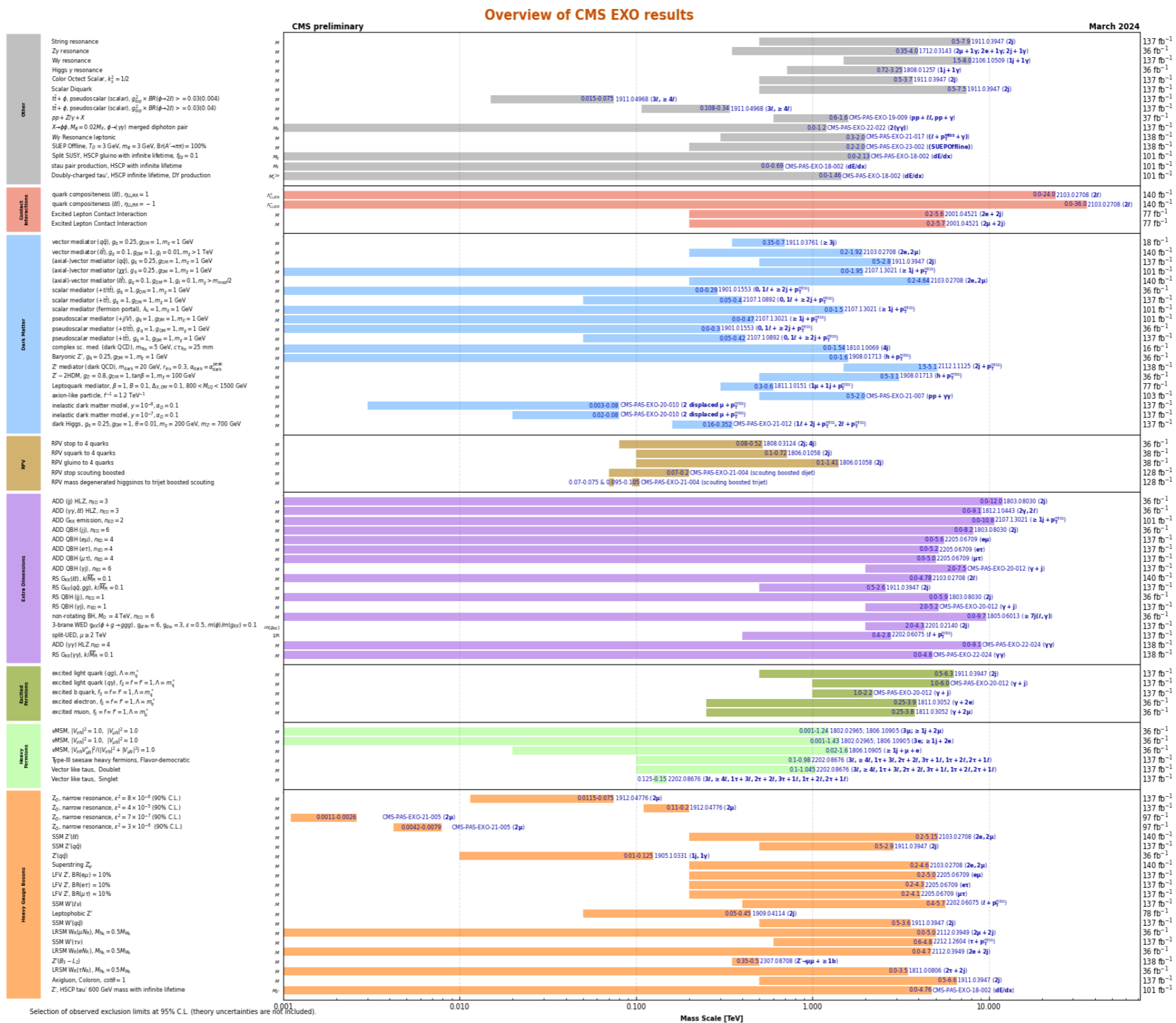


*Only a selection of the available mass limits on new states or phenomena is shown.

†Small-radius (large-radius) jets are denoted by the letter j (J).

Kompozit Modellerin Deneysel Durumları

CMS



Atomizmin tarihi, indirgemeciliğin tarihidir – doğanın tüm işlemlerini, az sayıda ilkel nesneyi yöneten az sayıda yasaya indirgeme çabası.

Leon M. Lederman

Kaynaklar

- Ian A. D'Souza, Calvin S. Kalman, “**Preons: Models of Leptons, Quarks and Gauge Bosons as Composite Objects**”, 1992, World Scientific Publishing
- Preon Models in Particle Physics, Grunde Haraldsson Wesenberg,
https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/247318/740995_FULLTEXT01.pdf