



FİZ0424 PARÇACIK FİZİĞİ

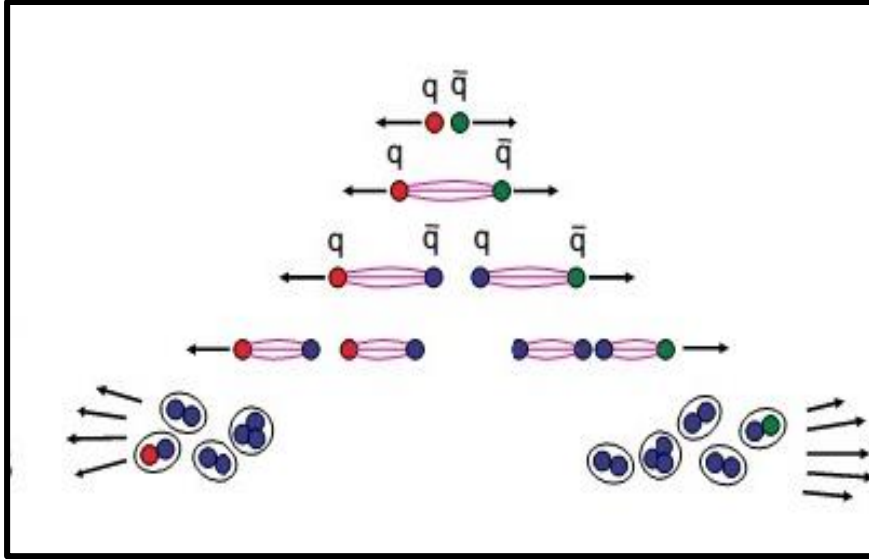
*Ankara Üniversitesi
Fen Fakültesi Fizik Bölümü
4. Hafta*

AYSUHAN OZANSOY

İçerik

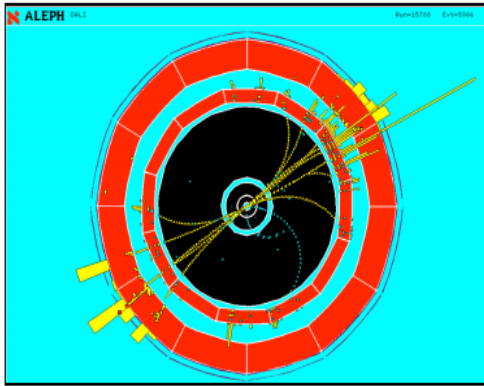
1. Partonlar ve jetler
2. Egzotik hadronlar
3. Nötrinolar
4. Kasım Devrimi ve Sonrası
5. Gluonun keşfi
6. W ve Z Bozonlarının Keşfi
7. Higgs Bozonunun Keşfi

1 Partonlar ve jetler

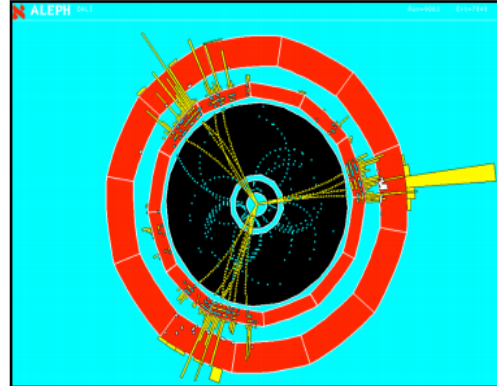


Parton: Protonun bileşenleri anlamında kullanılır (kuarklar ve gluonlar).

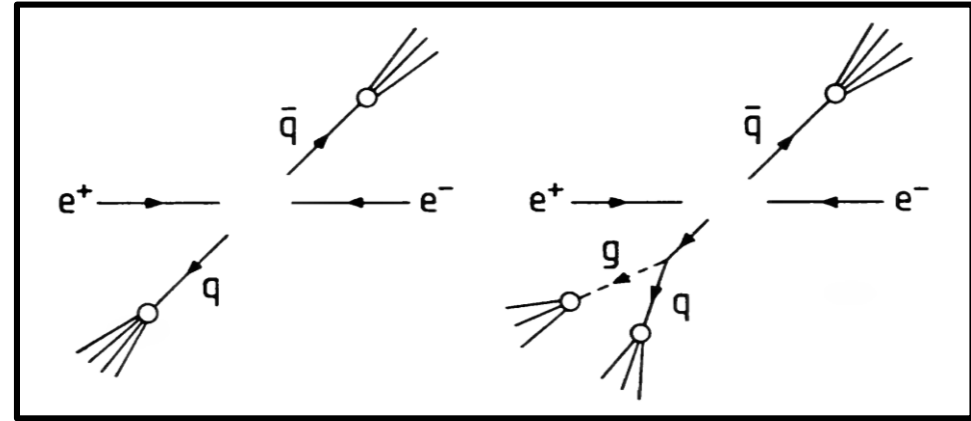
Hadronlaşma ve jetler: Bu kuark-antikuark çiftleri detektörlerde kaydedilen mezon ve baryonları oluşturmak için çok farklı şekillerde bir araya gelirler. Bu olaya **hadronlaşma** denir. Yüksek enerjili çarpışmalarda kuarklar üretildiğinde hemen hadronlaşma olur ve varlıkları jet olarak algılanır. Detektörde belli bir açıda yoğun olarak toplanmış bu parton topluluklarına **jet** denir.

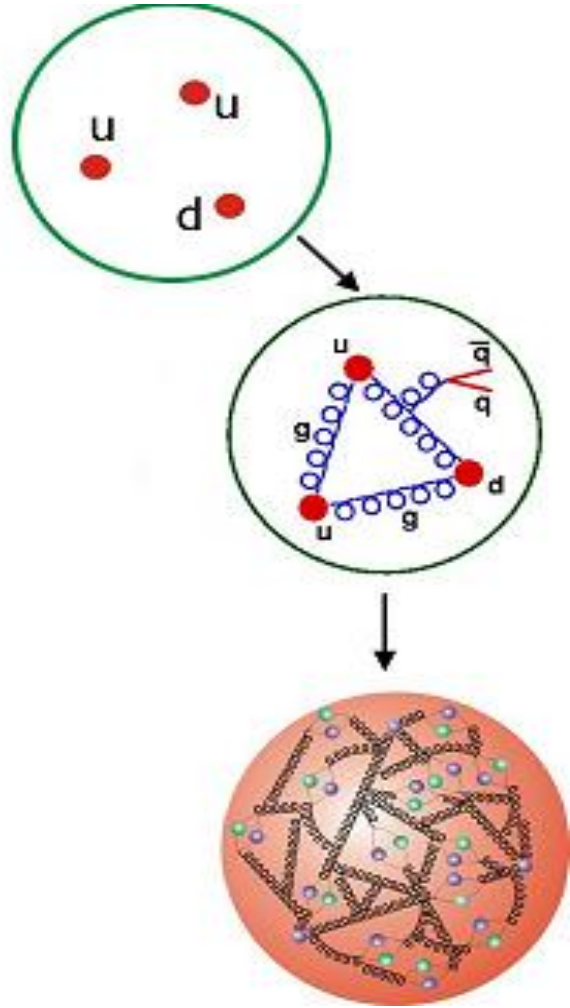


Two jet event from LEP



Three jet event from LEP





Valans kuarklar: Bir hadronun çeşni kuantum sayılarını veren kuarklar.

Deniz kuarklar: Gluonlardan oluşan kuark-antikuark çiftleri.

Parton dağılım fonksiyonları (pdf):

Protonun içindeki partonların taşıdığı momentumun dağılımlarını anlatan fonksiyonlar.

Protonun yapısı

- 2 tane u 1 tane d valans kuark
- daha yüksek enerjilerde

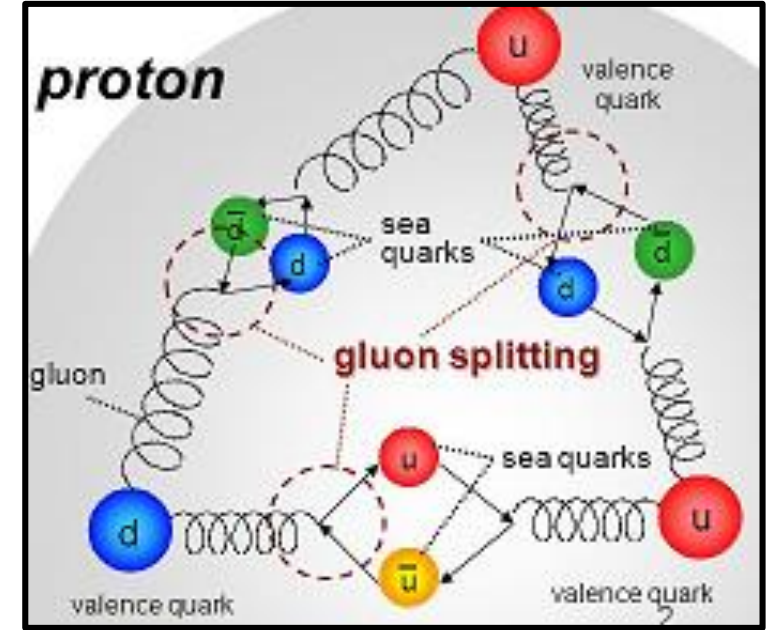
- gluonlar

- deniz kuarklar

Daha da yüksek enerjilerde

- daha çok gluon ve daha çok deniz kuarklar

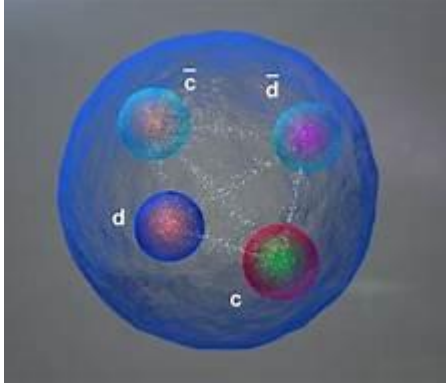
→ Parton dağılım fonksiyonları



Şekil; <http://slideoplayer.com/slide/2426434/#>

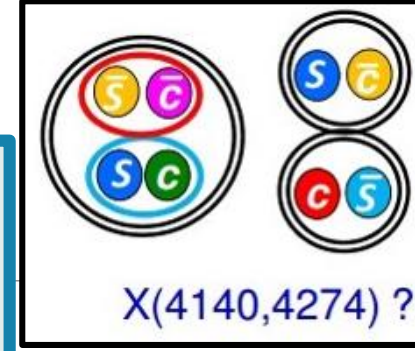
adresinden alınmıştır.

2. Egzotik Hadronlar

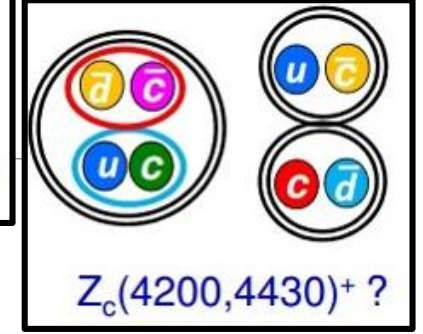


Tetrakuark ($q\bar{q}q\bar{q}$)

- 2003 Belle (Japonya) X(3872)
- 2007 Belle (Japonya) Z(4430) Y(4460)
- Bağlanma mekanizması: - 4 kuark bağlı durumu mu (sıkı bağlı) ??
 - 2 mezon bağlı durumu mu (gevşek bağlı) ?? (Mezon molekülü??)



X(4140,4274) ?

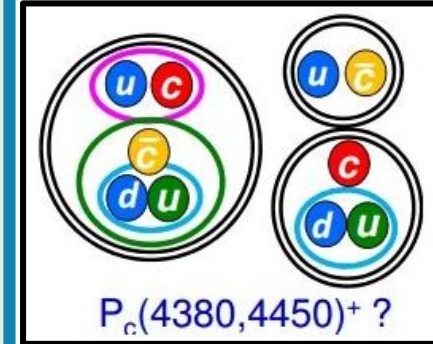


Z_c(4200,4430)+ ?



Pentakuark ($qqqq\bar{q}$)

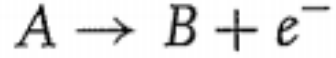
- 2000'li yılların ortalarında bazı deneylerde pentaquark keşfi ile ilgili iddialar
- 2015 yılında LHCb deneyi baryonun bozunumunda pentaquark keşfini duyurdu.
- 26 Mart 2019 LHCb yeni bir pentaquarkın keşfini duyurdu.
- Bağlanma mekanizması: - 5 kuark bağlı durumu (sıkı bağlı) ??
 - 1 mezon 1 baryon bağlı durumu (gevşek bağlı) ??
- 5 Haziran 2019, PRL 122, 222001 → Pentaquarkın moleküler yapıda olduğuna dair kanıtlar



P_c(4380,4450)+ ?

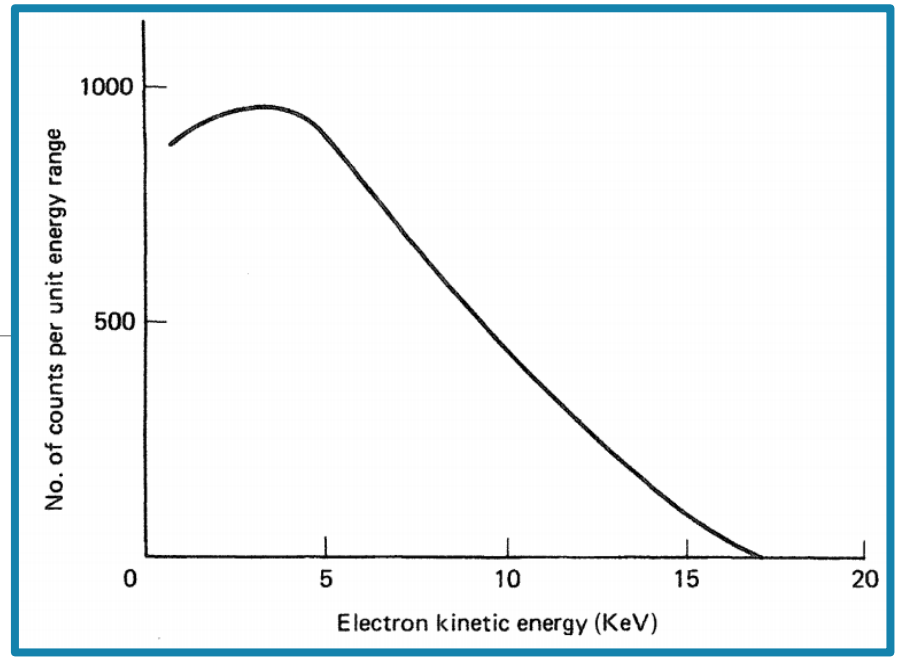
3. Nötrinolar:

- 1930'larda nükleer beta bozunumunda bir sorun ortaya çıkıyor:



$$E = \left(\frac{m_A^2 - m_B^2 + m_e^2}{2m_A} \right) c^2$$

Yayınlanan elektronların kinetik enerjilerini veren ifadeye göre, A, B ve e' nin kütlesi biliniyorsa enerji (E) tek bir değerde olmalı. Ancak deneysel olarak gözlenen enerji spektrumu sürekli.



- N. Bohr → "enerjinin korunumunda vazgeçelim!"
- W. Pauli → "Yayınlanan üçüncü bir nötral parçacık olmalı" Bu parçacığa Pauli nötron diyor.
- J. Chadwick (1932) → Nötronu keşfediyor
- E. Fermi (1933) → Beta bozunumu kuramı. Bu parçacığın ismine «nötrino» diyor.
- 1950-1956 Cowan & Reines ve Davis & Hermer → Elektron nötrinosunun keşfi, nötrino ve antinötrino farklı parçacıklar

Modern terminolojide, temel beta bozunumu süreci: $n \rightarrow p^{+} + e^{-} + \bar{\nu}$



L. Lederman (1962): muon nötrinosunun keşfi



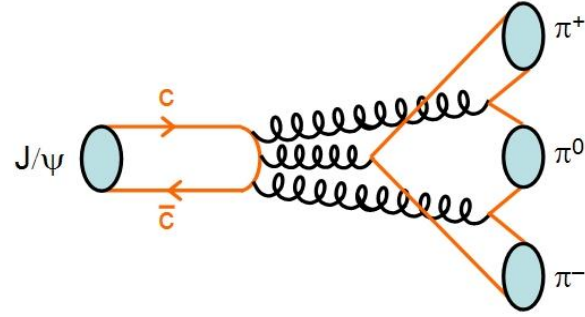
4. Kasım Devrimi ve Sonrası

Brookhaven, C.C. Ting \rightarrow J

SLAC, B. Richter \rightarrow Ψ

J/ Ψ : $c\bar{c}$

Tılsımlı kuark (c kuarkın keşfi)



... ve sonrası ...

Kuarkonyum: Toplam çeşni kuantum sayısı sıfır olan mezonlar

1975: Tau leptonun keşfi

1977: Fermilab' da Upsilon (Υ) mezon keşfi ($b\bar{b}$ bağlı durumu)

1979: DESY PETRA'da TASSO deneyinde Gluon'un keşfi

1983: CERN' de W ve Z bozonlarının keşfi

1995: Fermilab Tevatron'da top kuarkın keşfi

2000: Fermilab DONUT Deney grubu, Tau nötrinosunun keşfi

→ Bazı mezonlar ve kuark içerikleri aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$(*)\pi^0 = \frac{u\bar{u} - d\bar{d}}{\sqrt{2}}$$

$$\eta \approx \frac{u\bar{u} + d\bar{d} - 2s\bar{s}}{\sqrt{6}}$$

$$\eta' \approx \frac{u\bar{u} + d\bar{d} + s\bar{s}}{\sqrt{3}}$$

Kuarklar	Mezon		Mezon		Mezon		Mezon		Mezon	
b	Υ^-	$(\bar{b}b)$	J/Ψ	$(\bar{c}c)$	η, η'	$(\bar{s}s)$	\bar{K}_0	$(\bar{d}s)$	K^-	$(\bar{u}s)$
c	B_c^+	$(\bar{b}c)$	D_s^-	$(\bar{c}s)$	K^0	$(\bar{s}d)$	π^0, η, η'	$(\bar{d}d)$	π^-	$(\bar{u}d)$
s	B_s^0	$(\bar{b}s)$	D^-	$(\bar{c}d)$	K^+	$(\bar{s}u)$	π^+	$(\bar{d}u)$	π^0, η, η'	$(\bar{u}u)$
d	B^0	$(\bar{b}d)$	\bar{D}^0	$(\bar{c}u)$						
u	B^+	$(\bar{b}u)$								

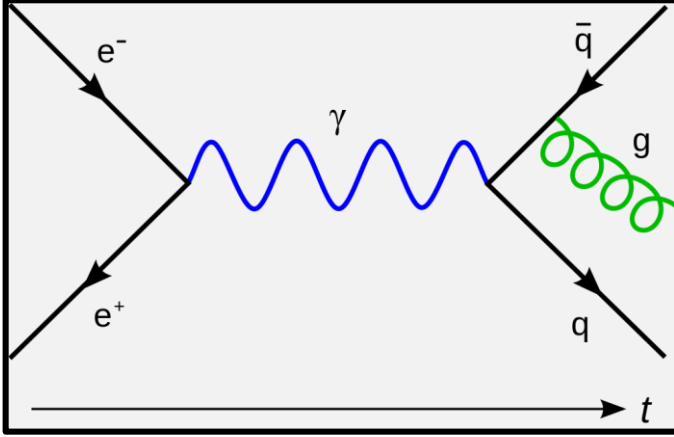
(*) Aslında π^0 , η ve η' farklı durumların kuantum mekaniksel bir karışımıdır.

<u>Baryon</u>	<u>Kuark içeriği</u>
P (proton)	uud
n (nötron)	udd
Λ^0 Lambda sıfır	uds
Σ^+ Sigma+	uus
Σ^0	uds
Σ^-	dds
Ξ^0	uss
Ξ^-	dss
Ω^-	sss

→ Bazı baryonlar ve kuark içerikleri

* t kuark kararlı olmadığı için hemen bozunur, bu nedenle t kuark içeren herhangi bir mezon ya da baryon yoktur.

5. Gluonun keşfi (1979 DESY TASSO Deneyi)



DIS deneylerinden protonun momentumunun yarısını elektriksel olarak nötral bir parçacığın taşıdığı biliniyor. Gluon denen bu parçacıklar güçlü etkileşmenin aracı parçacığıdır ve hadronların içinde kuarkları bir arada tutar.

Gluonları gözlemenin en temiz yolu elektron-pozitron yok olma sürecinde, bremsstrahlung yoluyla bir gluon üretimi; 3- jet olayları (Fikir: John Ellis, CERN, 1976) (J. Ellis, M. Gillard, G. Ross, Nucl. Phys. B, 111, 2)



1979 yılında Almanya DESY' deki PETRA Çarpıştırıcısında TASSO deneyinde 3-jet olaylarında keşfedildi.

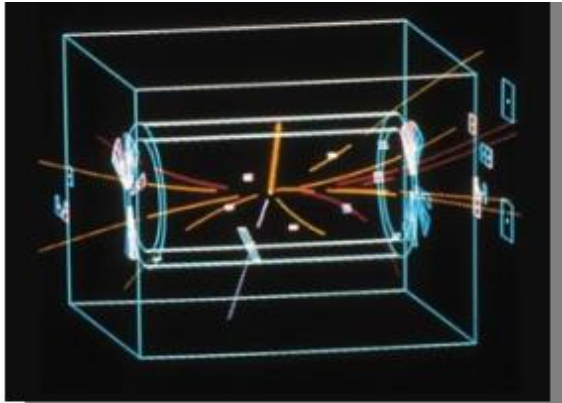
6. W ve Z bozonlarının keşfi



Carlo Rubbia

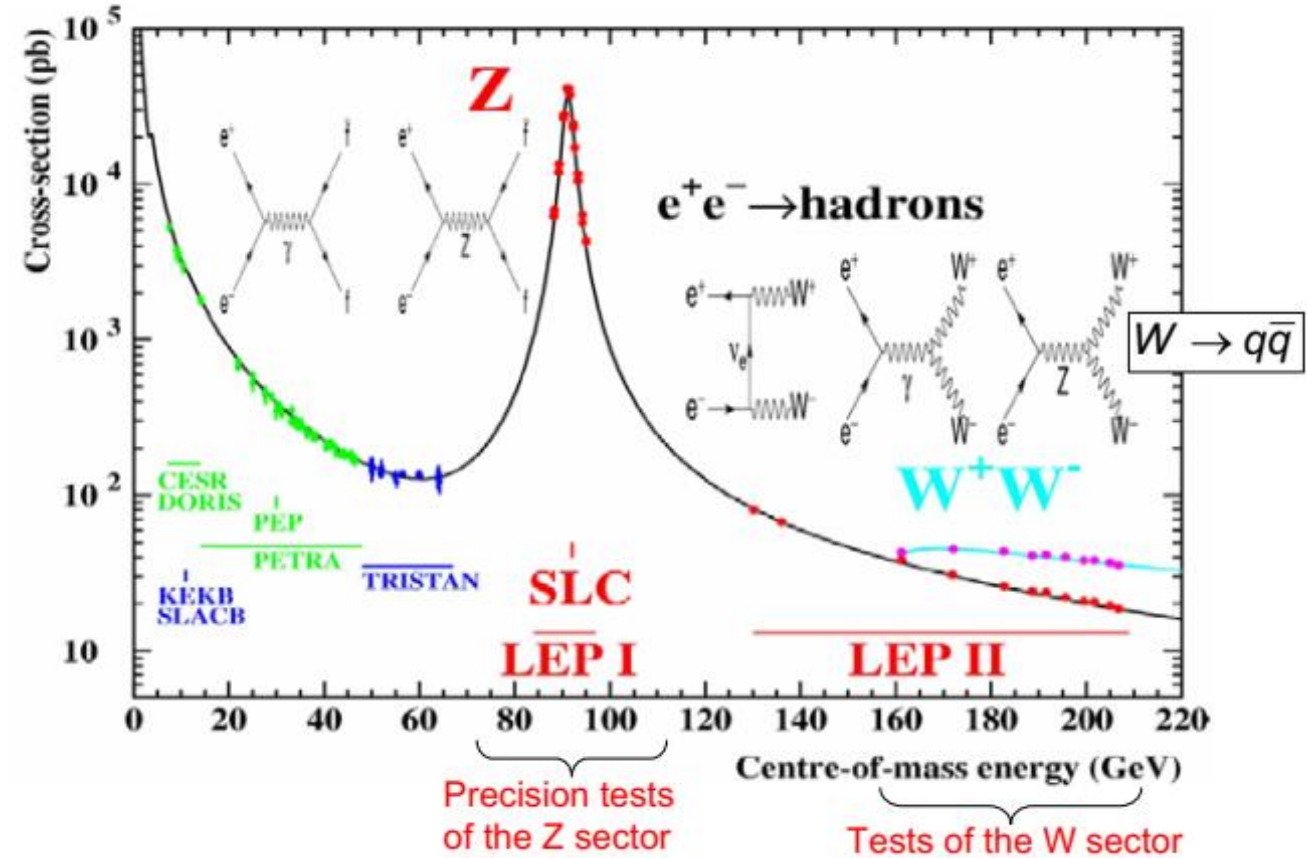
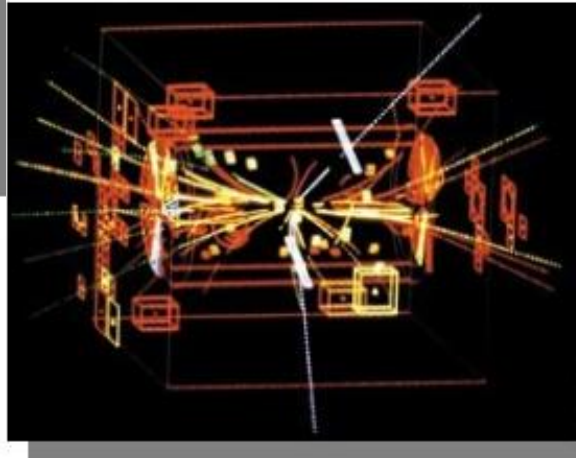
Simon van der Meer

CERN' deki SPS'deki UA1 (Underground Area) ve UA2 deneylerinde 1983 yılında W ve Z bozonları keşfedildi. LEP deneyinde hassaslık ölçümleri yapıldı.



W \rightarrow e ν

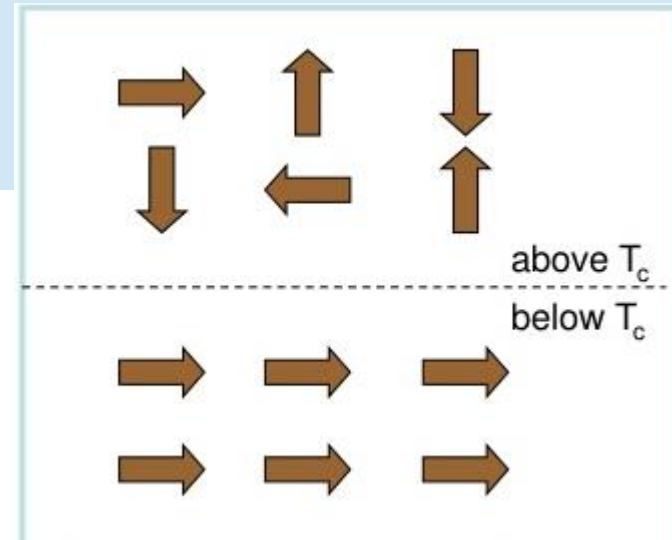
Z \rightarrow e $^+$ e $^-$



7. Higgs Bozonunun Keşfi

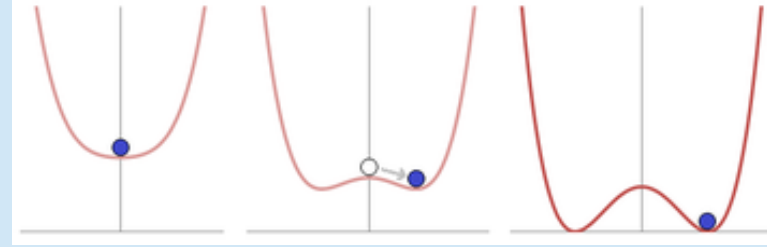
→ Temel parçacıklar Higgs alanı ile etkileşmeleri ile kütle kazanırlar. Cisimlerin kütle kazanmalarının altında yatan düşünce "kendiliğinden simetri kırılması" dır.

- Kendiliğinden simetri kırılması (KSK) hem parçacık fiziğinde hem de yoğun madde fiziğinde büyük öneme sahiptir. (Örneğin; bir ferromagnet uzaysal dönmeler altında invaryant olan bir Lagranjiyen ile tanımlanır. Curie sıcaklığına kadar soğutulduğunda ferromagnet net bir manyetizasyon kazanır, spinler belirli bir yönde yönelmiştir. Dönme simetrisi açıkça kırılmıştır.)



→ Bir sistemi tanımlayan Lagranjiyenin sahip olduğu simetri ile, sistemin vakum durumu aynı simetriye sahip değilse “kendiliğinden simetri kırılması” gerçekleşir.

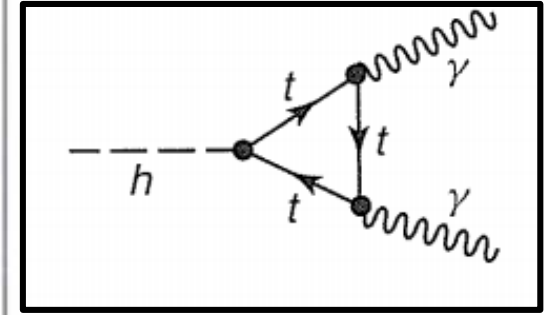
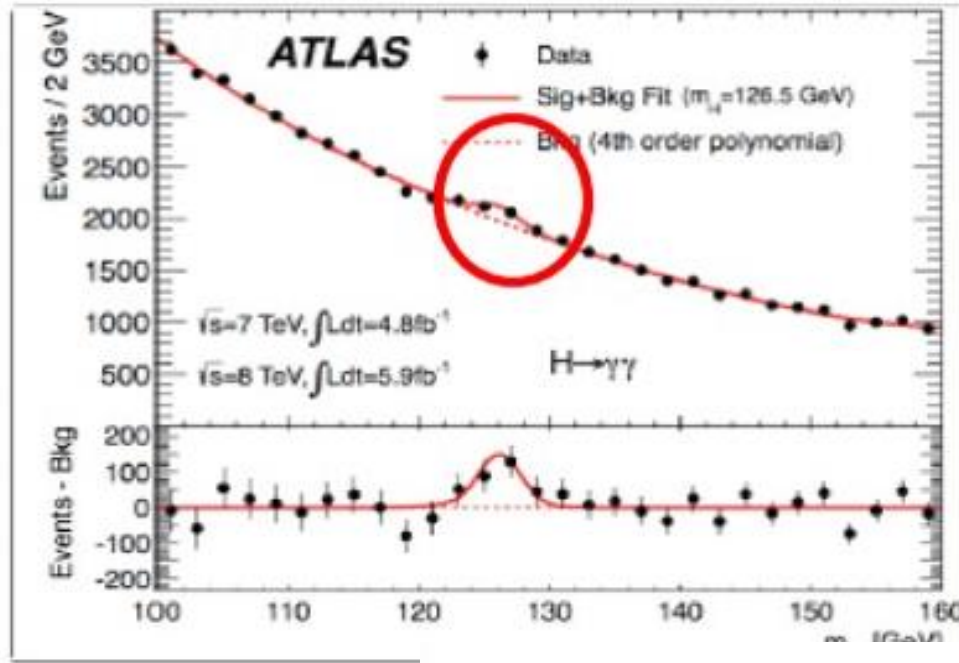
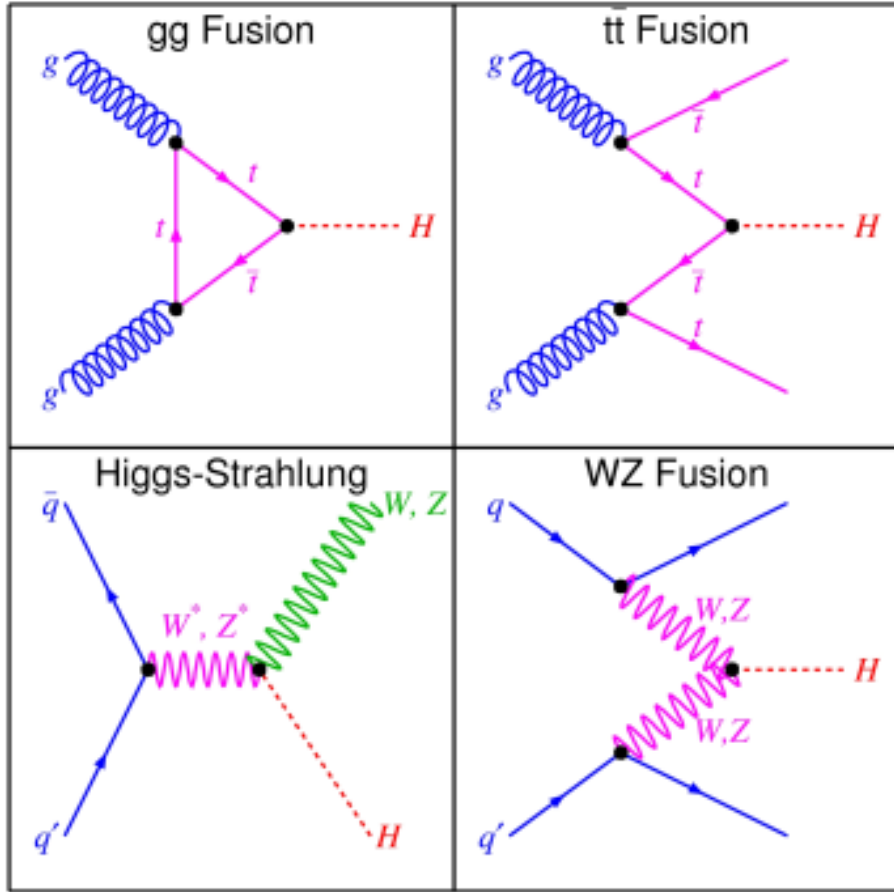
- Sıfırdan farklı bir vakum beklenen değerine sahip parçacık alanı “**spin-0**” olmalıdır. Çünkü sistem dejenere minimum durumlarından bir tanesini rastgele olarak taban durumu olarak seçmiştir. Bu vakum durumunun dönmeler altında simetrik olabilmesi için alanın spini sıfır olmalıdır.



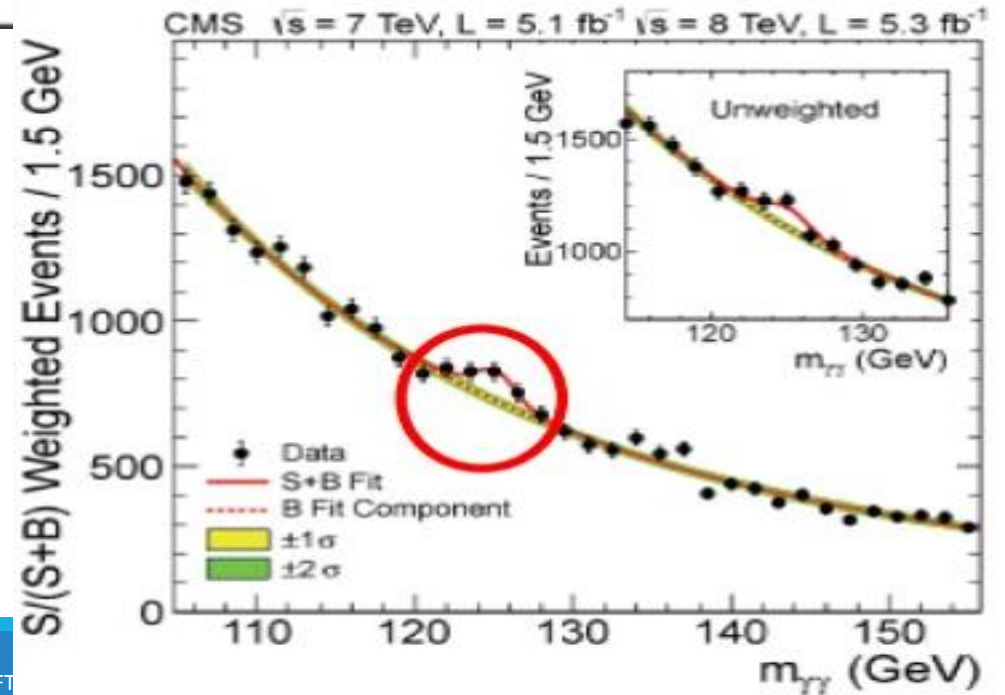
- Higgs alanı, spin-0 bir alandır ve parçacıklar kütlelerini Higgs alanıyla etkileşmeleri yoluyla kazanırlar, parçacık ne kadar çok etkileşirse o kadar kütle kazanır.
- Higgs alanının kuantum uyarılmaları **Higgs parçacığı**nı oluşturur.

Higgs Bozonunun CERN'de Keşfi

CERN LHC, ATLAS ve CMS deney grupları, 2012
LHC' de Higgs üretim mekanizmaları



$H \rightarrow \gamma\gamma$
için ATLAS ve CMS sonuçları, 2012



Kaynaklar:

1. "Introduction to Elementary Particles" , D. Griffiths, Wiley, 2nd revised edition, 2013.
(Türkçe' ye çevirisi mevcut, Temel Parçacıklara Giriş, Çeviri Editörü. G. Önengüt, Nobel Akademik Yayıncılık, 2015)
2. "Particle Physics", B.R. Martin and G. Shaw, 3rd edition, John Wiley & Sons, 2008. (ilk baskı, 1992)
3. "Introduction to High Energy Physics", D. H. Perkins, 4th edition, Cambridge Univ. Press, 2000. (İlk baskı 1972)
4. "Quarks and Leptons-An Introductory Course on Modern Particle Physics" , F. Halzen and A. D. Martin, John Wiley & Sons, 1984.
5. "Introduction to Nuclear and Particle Physics", A. Das and T. Ferbel, World Scientific, 2nd edition, 2006.
6. "The Particle Hunters", Y. Ne'eman and Y.Kirsh, Cambridge University Press, 2nd edition, 1996 (İlk baskı 1983)
7. "Meraklısına Parçacık ve Hızlandırıcı Fiziği", B. Akgün, G. Ünel, S. Erhan, S. Sekmen, U. Köse, V. Yıldız, 2014.
8. <https://www2.ph.ed.ac.uk/~vjm/Lectures/SHParticlePhysics2012.html>
9. <http://epweb2.ph.bham.ac.uk/user/newman/ctpp2016/Lecture6.pdf>