



Temel Parçacık Dinamikleri

Sunum İçeriği

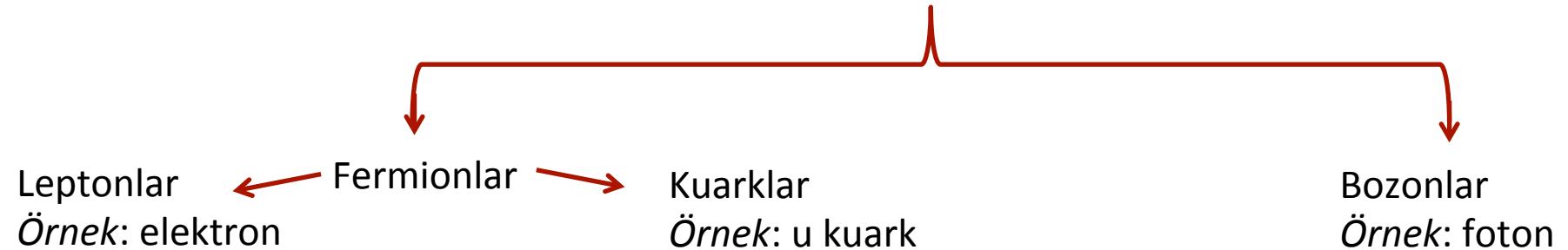
1. Dört Kuvvet
2. Kuantum Elektrodinamiği (KED)
3. Kuantum Renk Dinamiği (KRD)
4. Zayıf Etkileşimler



Temel Parçacık Dinamikleri

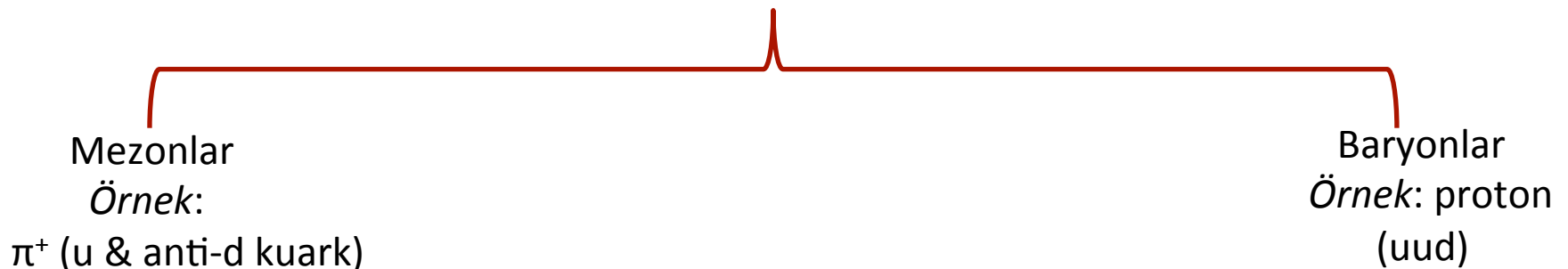
Genel Tekrar

Temel Parçacıklar



Kuarklar serbest halde görülmezler. Kuarklardan oluşan yapılar ise genel olarak şu şekilde sınıflandırılırlar:

Hadronlar



Temel Parçacık Dinamikleri



Dört Kuvvet

Giriş

- Bu bölümde temel parçacıkların birbirleriyle etkileştiği **temel kuvvetleri** ve etkileşimleri temsil etmek için kullandığımız **Feynman diyagramlarını** inceleyeceğiz.

Temel Parçacık Dinamikleri



Dört Kuvvet

Kuvvet	Şiddeti *	Kuram	Aracı
Güçlü	10	Renk Dinamiği	Gluon
Elektromanyetik	10^{-2}	Elektrodinamik	Foton
Zayıf	10^{-13}	Çeşni dinamiği	W ve Z
Kütleçekimi	10^{-42}	Geometrodinamik	Graviton

- Bildiğimiz kadarıyla doğada **dört temel kuvvet** bulunmaktadır.
- Bu kuvvetlerin her birine bir **parçacık değiş-tokuşu aracılık** etmektedir.
- Bu kuvvetlerin her birisi için **fiziksel bir kuram** bulunmaktadır.
- * bir kuvvetin şiddeti özünde belirsiz bir kavramdır – sonuçta, kaynağın doğasına ve sizden ne kadar uzakta olduğuna bağlıdır.

Not: Verilen şiddetler femtometre mertebesindeki mesafeler için geçerlidir!

Temel Parçacık Dinamikleri



Dört Kuvvet

Kuvvet	Şiddeti *	Kuram	Aracı
Güçlü	10	Renk Dinamiği	Gluon
Elektromanyetik	10^{-2}	Elektrodinamik	Foton
Zayıf	10^{-13}	Çeşni dinamiği	W ve Z
Kütleçekimi	10^{-42}	Geometrodinamik	Graviton

Not: Hala çok zayıf olmasından (veya çok küçük mesafelerde etkili olabilmesinden) dolayı henüz bilmediğimiz başka etkileşimler de olabilir!

Temel Parçacık Dinamikleri



Dört Kuvvet

Kuvvet	Taşıyıcı Bozon	Kütle (Gev/c ²)	Menzil
Güçlü	Gluon	0	10 ⁻¹⁵ m (fermi)
Elektromanyetik	Foton	0	∞
Zayıf	W ⁺ , W ⁻ , Z	80.4, 80.4, 91.2	10 ⁻¹⁸ m
Kütle-çekim	Graviton (?)	0?	∞

Not: Gravitonlar henüz keşfedilmemiştir!

Temel Parçacık Dinamikleri



Dört Kuvvet

- Bazı parçacıklar (diğer lepton ve kuarkları da temsilen) ve hangi etkileşimlerden etkilendikleri:

	Elektro- magnetik	Zayıf	Kuvvetli	Kütle- çekim
ν_e	-	+	-	+
e	+	+	-	+
u	+	+	+	+
d	+	+	+	+

Temel Parçacık Dinamikleri



Dört Kuvvet

Kütle Çekimi

- Kütle çekiminin klasik kuramı Newton'un evrensel çekim yasasıdır.
- Bu kuramın görelî genelleştirmesi Einstein'ın genel görelilik kuramıdır ('*geometrodinamik*' daha iyi bir terimdir).
- Kütle çekiminin tam olarak tatmin edici bir kuantum kuramı henüz formülize edilememiştir.
- Şimdilik çoğu kişi kütle çekiminin temel parçacık fiziğinde önemli bir rol oynamayacak kadar zayıf olduğunu farz etmektedir.

Temel Parçacık Dinamikleri



Dört Kuvvet

Elektromanyetik Kuvvet

- Elektromanyetik kuvvetleri betimleyen fiziksel kuram elektrodinamik olarak adlandırılır.
- Klasik formülasyonu yüz yıl kadar önce Maxwell tarafından verilmiştir.
- Maxwell'in kuramı en başından itibaren özel görelilikle uyum içindedir (kuramın ana esin kaynağı zaten budur). ~~Galieli~~ dönüşümü / *Lorentz dönüşümü*
- Elektrodinamiğin kuantum kuramı 1940'lı yıllarda Tomonoga, Feynman ve Schwinger tarafından mükemmelleştirilmiştir.

Temel Parçacık Dinamikleri



Dört Kuvvet

Kütle-çekim ve Elektromanyetik Kuvvet

- Günlük hayatta karşılaştığımız kuvvetler neredeyse tamamen elektromanyetik ve kütle-çekim etkileşimlerinin bir sonucudur.
- Örneğin, gezegenlerin ve uyduların hareketini kütle-çekim açıklamaktadır.
 - Bunun sebebi taşıyıcı bozonların menzilleriyle ilişkilidir.

Temel Parçacık Dinamikleri



Dört Kuvvet

Zayıf Kuvvet

- Nükleer beta bozunumundan (ve gördüğümüz gibi pion, müon ve *acayip* parçacıkların pek çoğunun bozunumlarından) sorumlu olan zayıf kuvvetler klasik fizikte bilinmiyordu; kuramsal betimlemeleri, en başından itibaren bir görelî kuantum formülasyonu ile verilmişti.
- Zayıf kuvvetlerin ilk kuramı Fermi tarafından sunuldu, Lee & Yang, Feynman & Gell-Mann ve diğer birçok kişi tarafından geliştirildi.
- Zayıf etkileşimlerin kuramı kimi zaman çeşni dinamiği olarak adlandırılır; kitapta Glashow-Weinberg-Salam (GWS) kuramı olarak ele alınmıştır.

Temel Parçacık Dinamikleri



Dört Kuvvet

Zayıf Kuvvet

- GWS modeli, zayıf ve elektromanyetik etkileşimleri tek bir elektrozayıf kuvvetin farklı görünüşleri olarak alır, bu anlamda dört kuvvet üçe indirgenir.
- Zayıf etkileşim, ismini günümüzde inceleme yapabildiğimiz en küçük mesafelerde etkisinin diğer etkileşimlere oranla az olmasından alıyor. Örneğin, 10^{-18} m için elektromanyetik etkileşime yakın bir etkideyken, 1 fm'de (10^{-15} m) artık ölçülemeyecek kadar az bir etkiye sahip oluyor.

Temel Parçacık Dinamikleri



Dört Kuvvet

Güçlü Kuvvet

- Güçlü kuvvetler için, Yukawa'nın öncü çalışmalarından sonra renk dinamiği (KRD) ortaya çıkıncaya kadar tam bir kuram yoktu.
- Renk dinamiği 1970lerin ortalarında ortaya çıkmaya başlamıştır.
- Bu bölümle ilgili daha detaylı ayrıntılar ilerleyen slaytlarda verilecektir.

Temel Paracak Dinamikleri

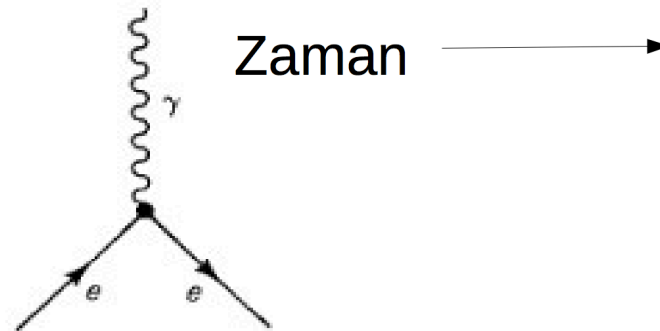


Kuantum Elektrodinamiği (KED)

Giriş

- Kuantum Elektrodinamiği, dinamik kuramların en eskisi, en basiti ve en başarılısıdır.
- Tüm elektromanyetik olgular sonunda aşığıdaki gösterilen temel sürece indirgenebilir.

Not: Şekildeki paracak elektron dışında her hangi bir kuark ya da yüklü lepton da olabilirdi. Nötrinolar yüksüz olduğundan bu etkileşime dahil değildir.



Temel Parçacık Dinamikleri



Kuantum Elektrodinamiği (KED)

Giriş

- İki elektron arasındaki etkileşmeyi gösteren diyagram, klasik kuramda, aynı yüklü parçacıkların Coulomb itmesi olarak nitelendirilir.
- KED'de bu süreç Moller saçılması olarak adlandırılır.
- Zamanda geriye giden bir parçacık çizgisi, ileri giden bir antiparçacık olarak yorumlanır.
- ** fotonun antiparçacığı kendisi olduğu için foton çizgisi üzerinde oka gerek yoktur.

Temel Paracak Dinamikleri

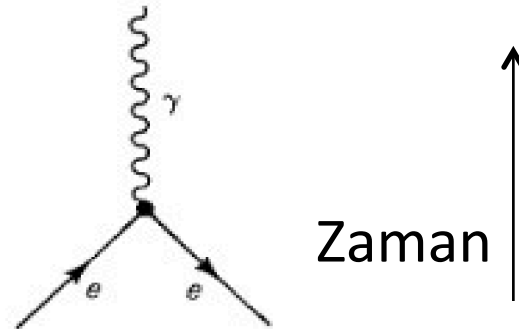


Kuantum Elektrodinamiği (KED)

Giriş

- Kuantum Elektrodinamiği, dinamik kuramların en eskisi, en basiti ve en başarılısıdır.
- Tüm elektromanyetik olgular sonunda aşığıdaki gösterilen temel sürece indirgenebilir.

Not: Şekildeki paracak elektron dışında her hangi bir kuark ya da yüklü lepton da olabilirdi. Nötrinolar yüksüz olduğundan bu etkileşime dahil değildir.

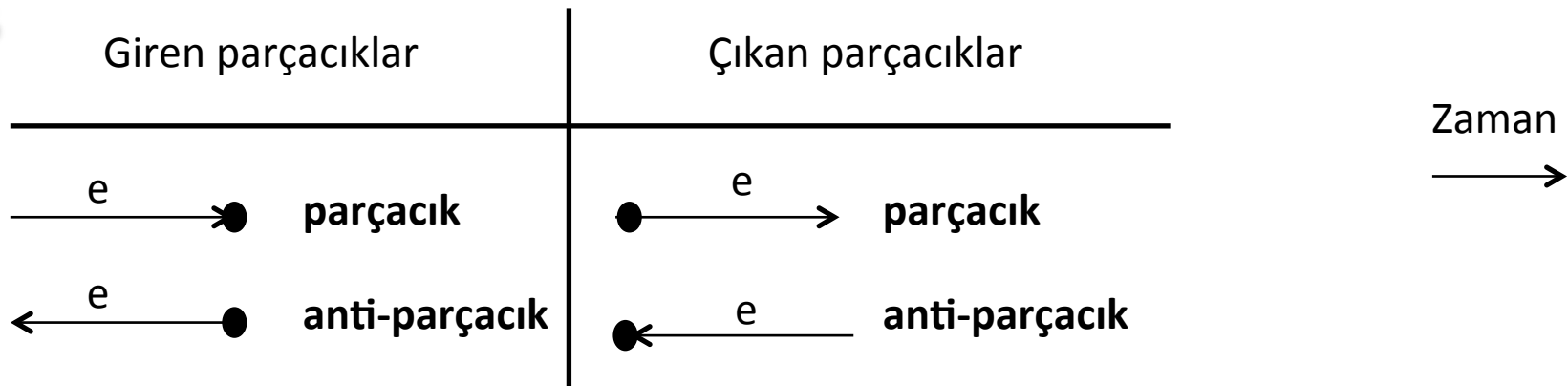


Temel Parçacık Dinamikleri



Kuantum Elektrodinamiği (KED)

Giriş



Antiparçacıklar diyagramlarda zamanın ilerleme yönünün aksine ilerleyen parçacıklar olarak gösterilir.

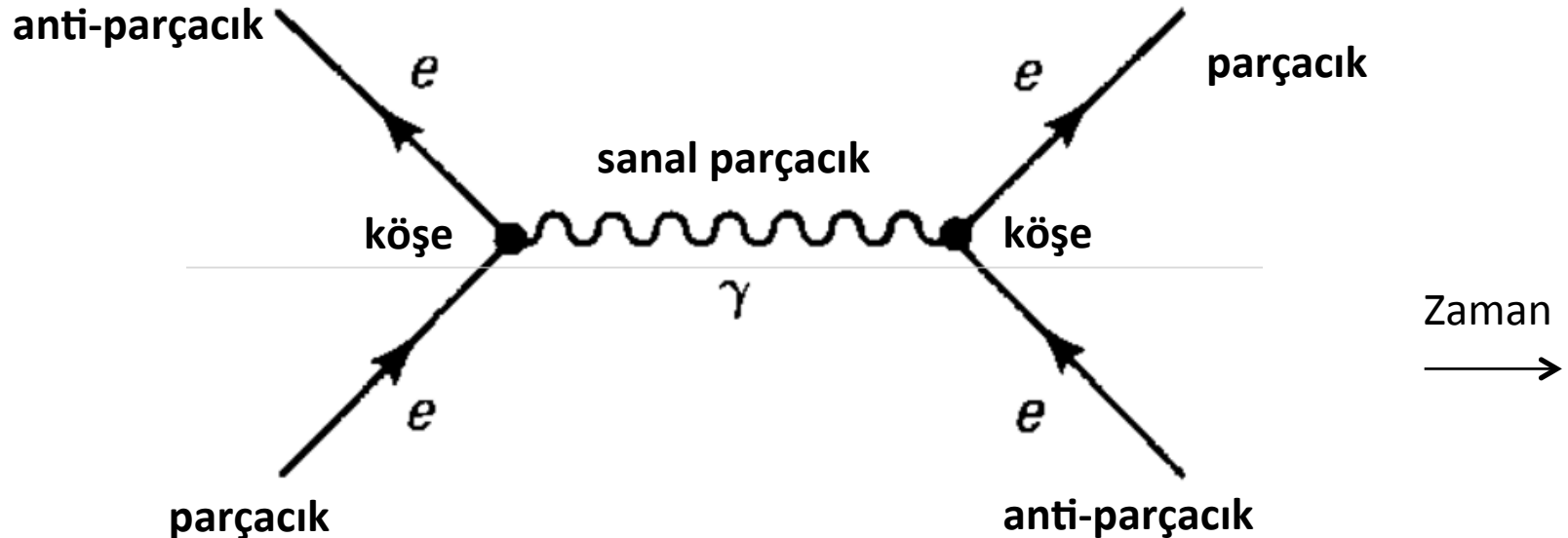
Temel Parçacık Dinamikleri

Kuantum Elektrodinamiği (KED)

Giriş

Örnek: Bhabha saçılması

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



Temel Parçacık Dinamikleri

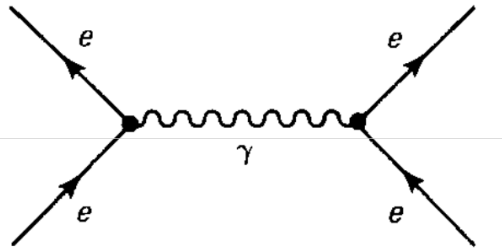


Kuantum Elektrodinamiği (KED)

Temel Diyagramlar

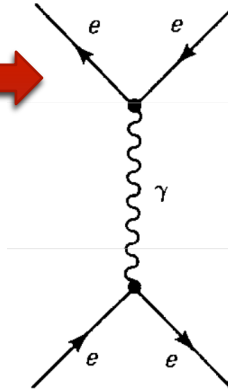
$$e^- e^- \rightarrow e^- e^-$$

Møller saçılması

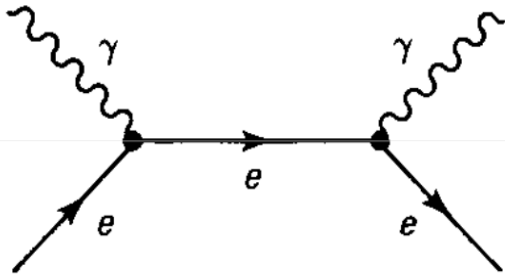


$$e^+ e^- \rightarrow e^+ e^-$$

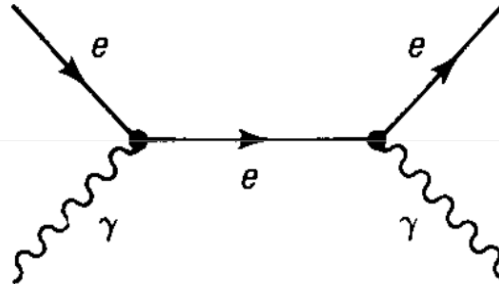
Bhabha saçılması



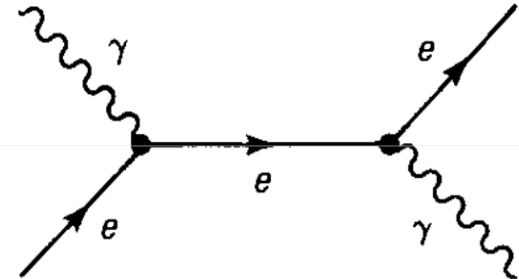
Çift yok-olma



Çift üretimi



Compton saçılması



zaman ↑

Temel Parçacık Dinamikleri

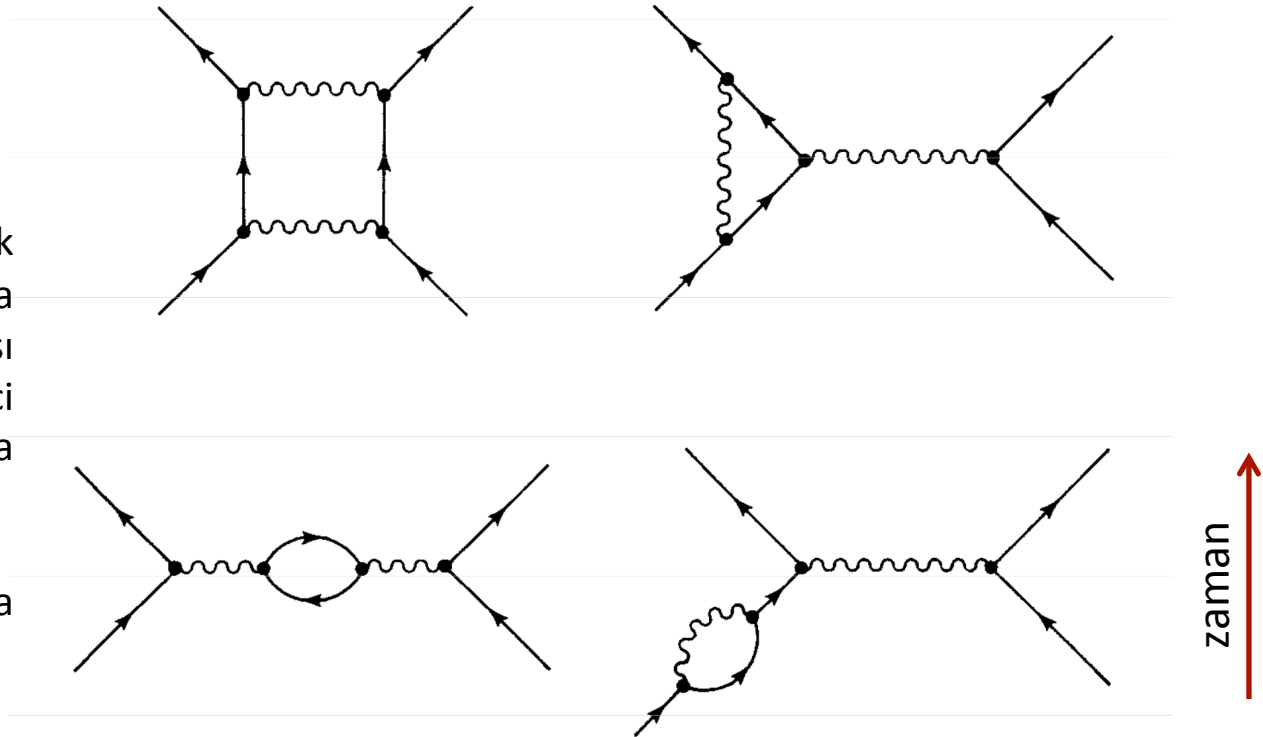


Kuantum Elektrodinamiği (KED)

İç çizgiler → Sanal parçacık
Dış çizgiler → Gerçek parçacık

Eğer köşe sayısını artırmak isteseydik Moller saçılmasına şu diyagramlar ve daha fazlası da eklenmeliydi. Aynı süreci sonsuz farklı diyagramla gösterebiliriz.

Peki sonsuz sayıda diyagramla nasıl başa çıkıyoruz?





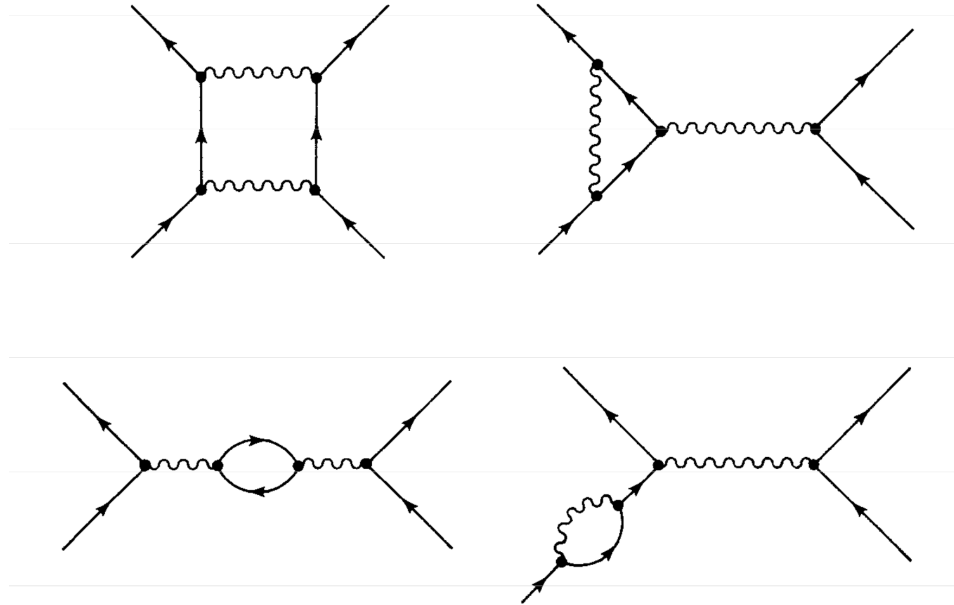
Temel Parçacık Dinamikleri

Kuantum Elektrodinamiği (KED)

Peki sonsuz sayıda diyagramla nasıl başa çıkıyoruz?

Her köşe için genlik hesabında *ince yapı sabiti* çarpan olarak gelmekte.

Hatta sürecin gerçekleşme olasılığı ise genliğin karesiyle orantılı.



$$\alpha = (e^2/\hbar c) = \frac{1}{137}$$

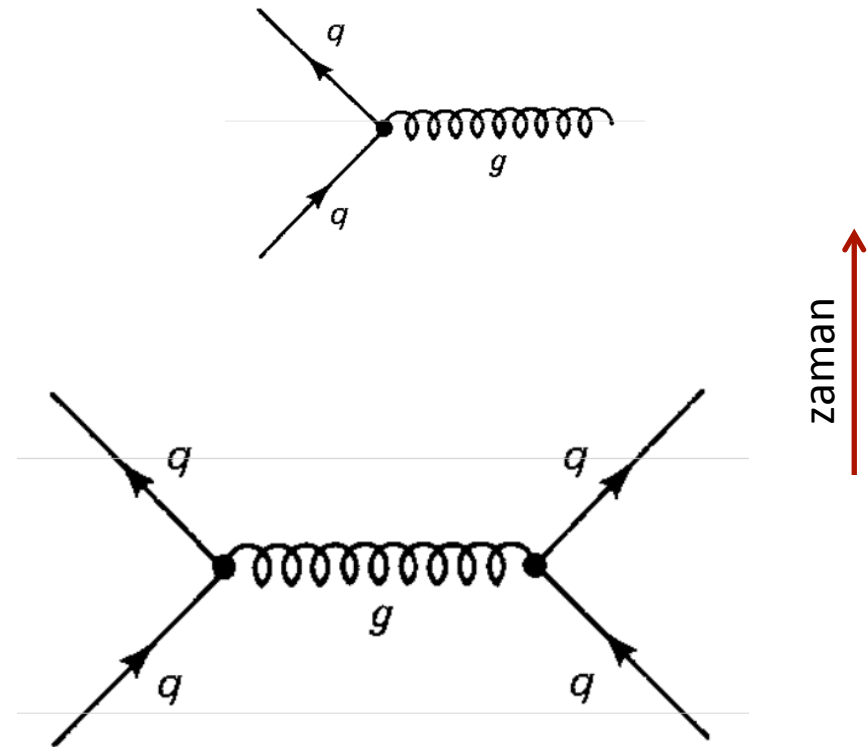
Temel Parçacık Dinamikleri



Kuantum Renk Dinamiği (KRD)

Giris (KED ile karşılaştırma)

- Güçlü etkileşimin tüm köşeleri temel olarak şekildeki gibidir.
- Elektrodinamikten farklı olarak renk dinamiğinde elektrik yükü yerine renk yükleri vardır. Artı/eksi yerine üç farklı renkle ifade edilirler.
- Fotonlar yerine ise gluonlar aracılık etmektedir.



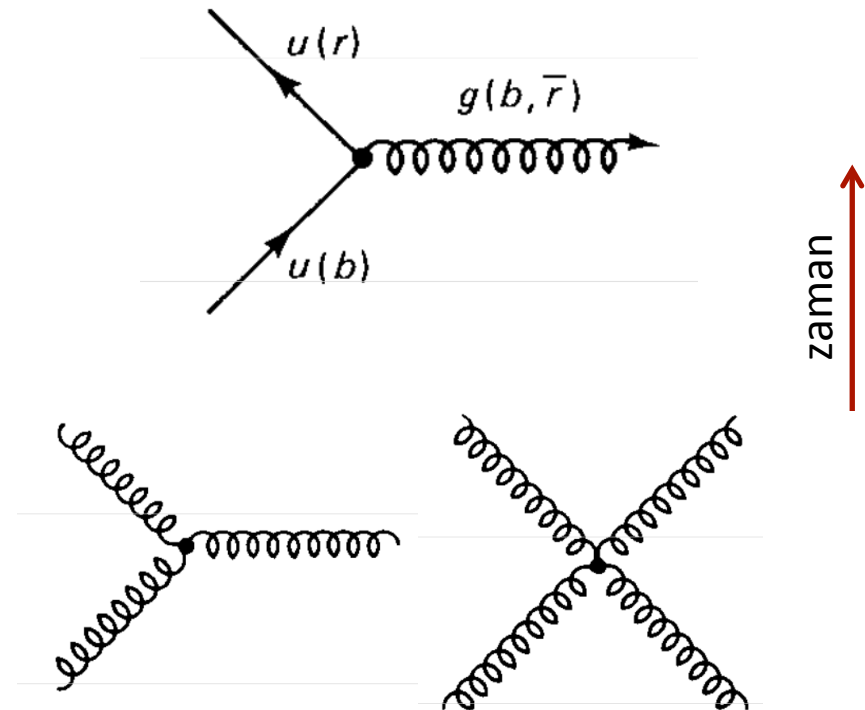
Temel Parçacık Dinamikleri



Kuantum Renk Dinamiği (KRD)

Giriş (KED ile karşılaştırma)

- Elektrik yükü yerine de renk yükünün korunumu vardır.
- 3 farklı renkte kuark, 8 farklı gluon vardır.
- Fotonlar yüksüz oldukları için kendi aralarında elektromanyetik etkileşime girmezken, gluonlar renk yüküne sahip olduklarından kendi aralarında da etkileşime girerler.



Temel Parçacık Dinamikleri



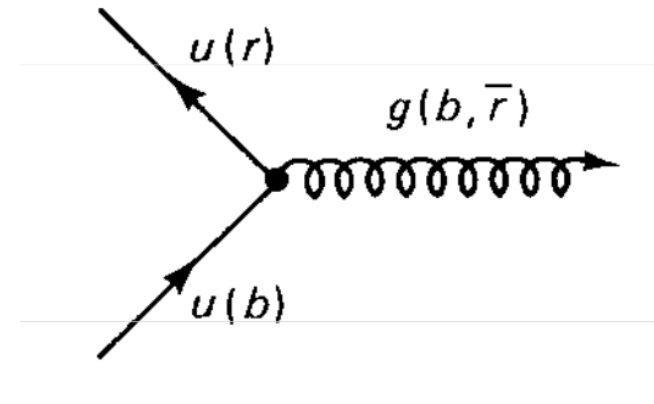
Kuantum Renk Dinamiği (KRD)

Giriş (KED ile karşılaştırma)

- KRD ile KED arasındaki en önemli farklardan biri de çiftlenim sabiti.

$$\alpha_s > 1 ?$$

- Köşe sayısı arttıkça genliğin artması?
- Bu soru uzun bir süre fizikçilerin aklını karıştırmıştı.



zaman ↑

Temel Parçacık Dinamikleri



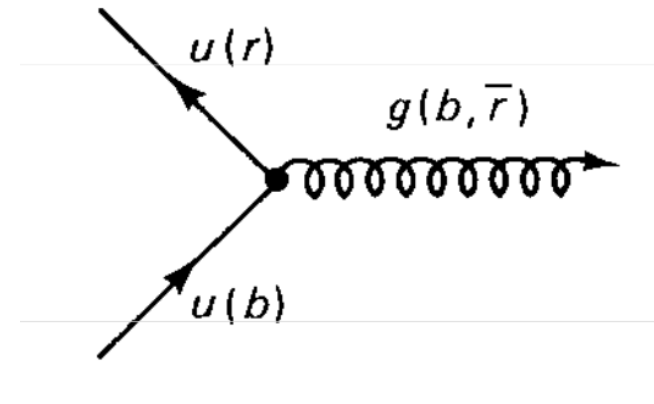
Kuantum Renk Dinamiği (KRD)

Giriş (KED ile karşılaştırma)

- KRD ve KED ile arasındaki en önemli farklardan biri de çiftlenim sabiti.

$$\alpha_s > 1 ?$$

- Köşe sayısı arttıkça genliğin artması?
- Aslında α_s uzaklığa bağlı. Mesafe küçüldükçe α_s de küçülüyor. Bu durum *asimptotik serbestlik* olarak bilinmektedir.



zaman ↑

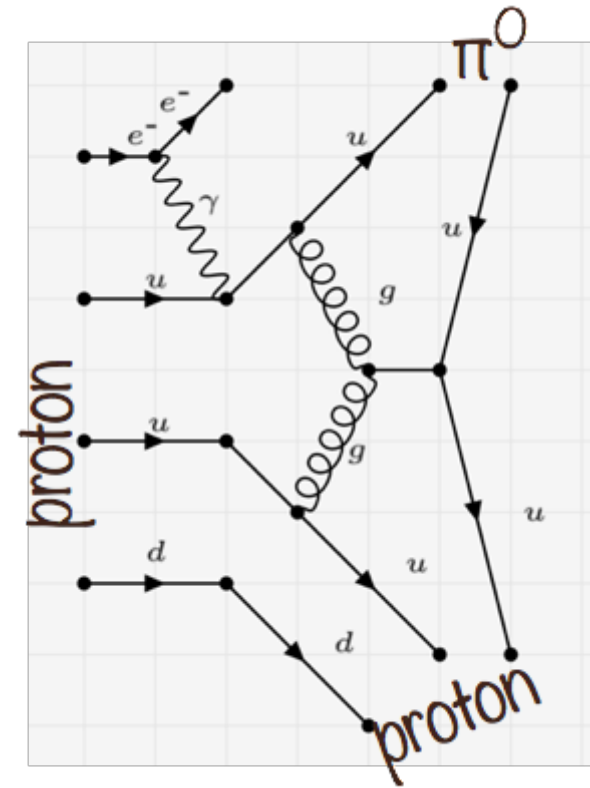
Temel Parçacık Dinamikleri



Kuantum Renk Dinamiği (KRD)

KRD ile KED arasındaki bir diğer fark ise elektrik yüklü/yüksüz parçacıklar serbest halde bulunabilirken, renk yükü taşıyan serbest bir parçacık henüz gözlenmemiştir.

Ancak bu *hapis hipotezinin* kesin bir kanıtı da henüz yapılamamıştır.



$$e^- p \rightarrow e^- p \pi^0$$

Temel Parçacık Dinamikleri



Zayıf Etkileşimler



Elektrik Yüğü $\leftrightarrow$ Elektromanyetik Etkileşim
 Renk Yüğü $\leftrightarrow$ Güçlü Etkileşim
 ? $\leftrightarrow$ Zayıf Etkileşim

	Elektro- manyetik	Zayıf	Kuvvetli	Kütle- Çekim
ν_e	-	+	-	+
e	+	+	-	+
u	+	+	+	+
d	+	+	+	+

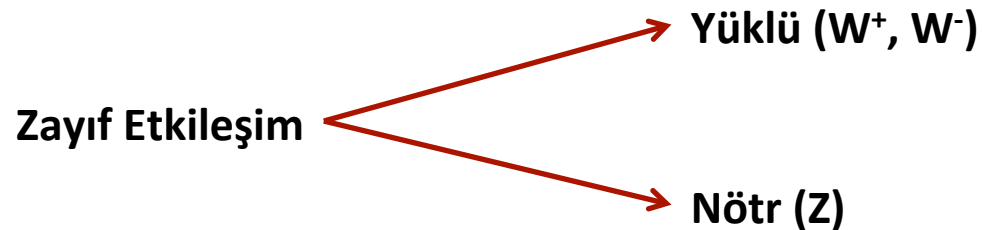
Temel Parçacık Dinamikleri



Zayıf Etkileşimler



Elektrik Yüğü $\leftrightarrow$ Elektromanyetik Etkileşim
Renk Yüğü $\leftrightarrow$ Güçlü Etkileşim
? $\leftrightarrow$ Zayıf Etkileşim

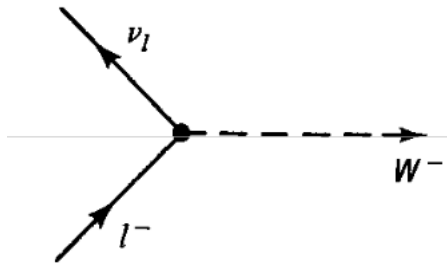




Temel Parçacık Dinamikleri

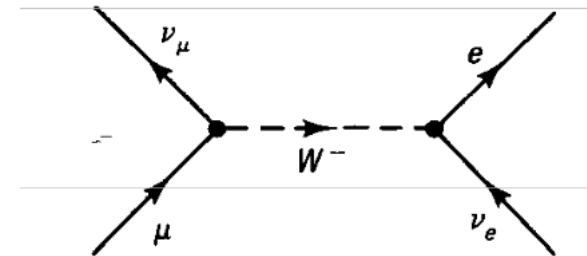
Zayıf Etkileşimler

Leptonlar ve Zayıf Etkileşimleri

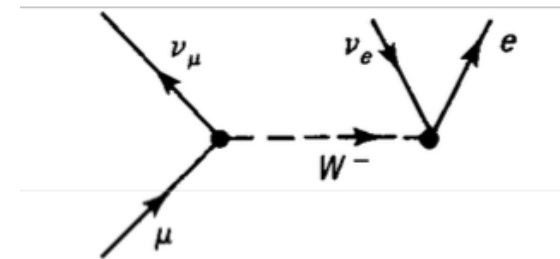


zaman ↑

Yüklü bir lepton W^- salıyor
veya W^+ emiyor olarak
düşünülebilir



Müon-nötrino saçılımı



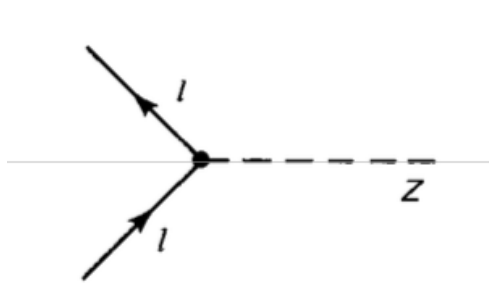
Müon'un bozunması

Temel Parçacık Dinamikleri

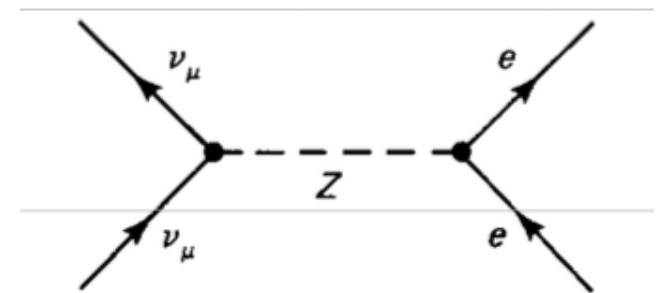


Zayıf Etkileşimler

Leptonlar ve Zayıf Etkileşimleri



zaman ↑



Herhangi bir lepton Z salıyor
veya emiyor olabilir

Elektron-nötrino saçılımı

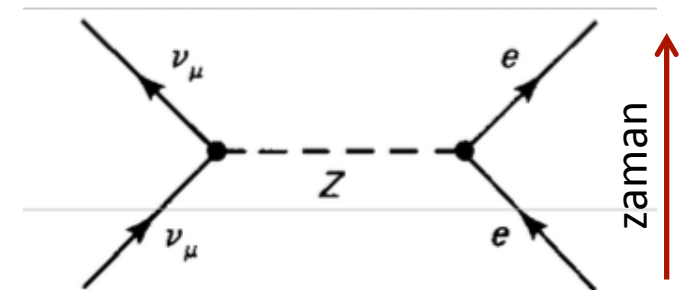
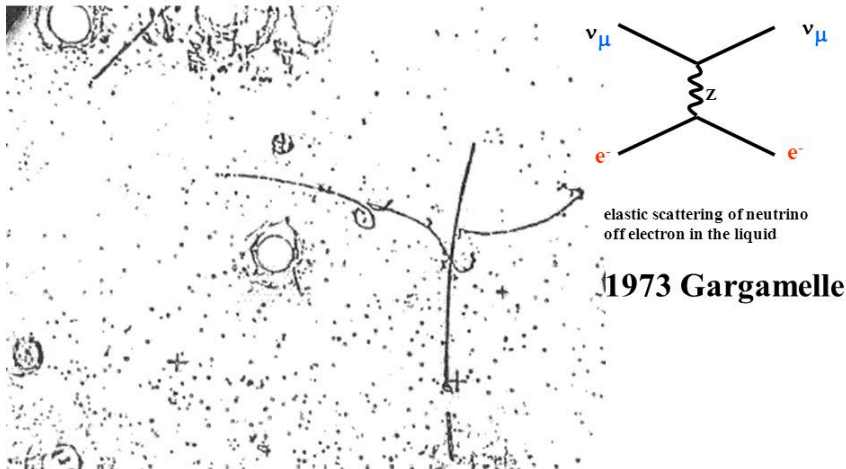
1958'e kadar nötr zayıf etkileşim tanınmıyordu! (GWS modeli)
1973'te de CERN'de yapılan bir deney ile desteklenen bulgular (Gargamelle)
1983'te ise yine CERN'de tam olarak keşfi (Süper Proton Sinkrotron)

Temel Parçacık Dinamikleri



Zayıf Etkileşimler

Leptonlar ve Zayıf Etkileşimleri



Elektron-nötrino saçılımı

experimental birth of the Standard model

Neutrino physics -- Alain Blondel



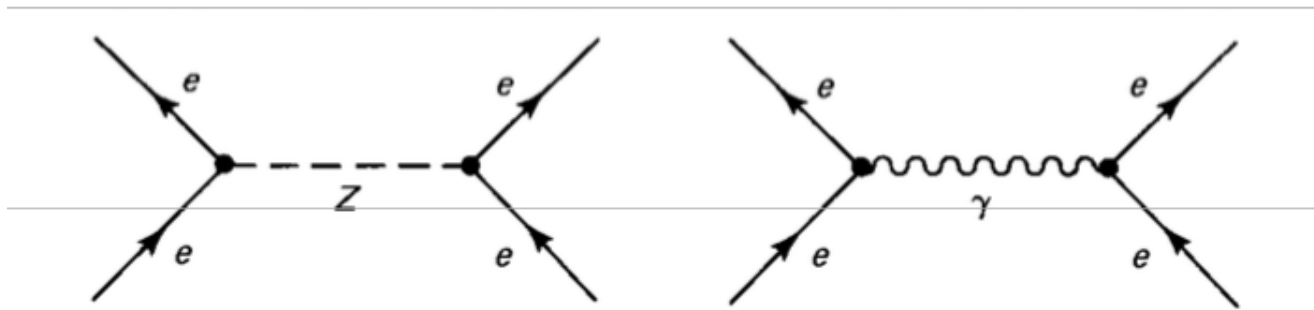
1973'te de CERN'de yapılan bir deney ile desteklenen bulgular (Gargamelle)
1983'te ise yine CERN'de tam olarak keşfi (Süper Proton Sinkrotron)

Temel Parçacık Dinamikleri



Zayıf Etkileşimler

Leptonlar ve Zayıf Etkileşimleri



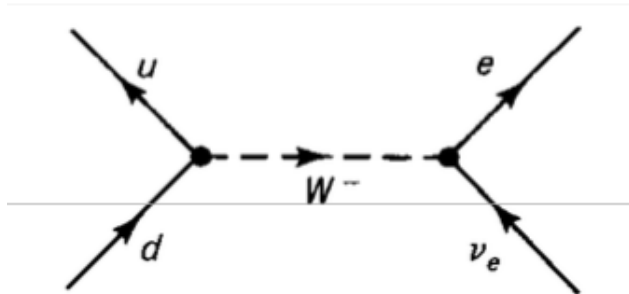
Elektromanyetik etkileşimin nötrino haricindeki lepton etkileşimlerindeki baskınlığı ve GWS modeline kadar teorik olarak bile öngörülememesi keşfini geciktirdi.

Temel Parçacık Dinamikleri

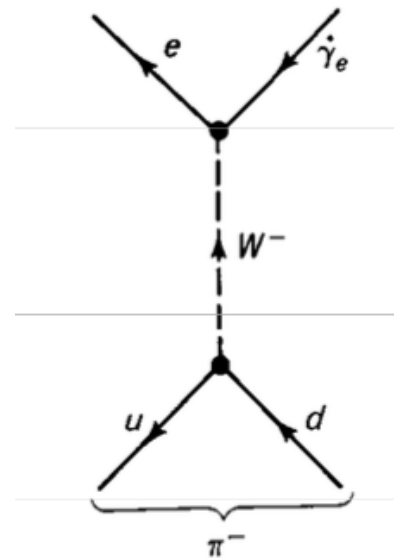


Zayıf Etkileşimler

Kuarklar ve Zayıf Etkileşimleri



Zayıf etkileşimlerde kuarkların renk ve elektrik yükleri korunurken çeşni tipi korunmaz !!! Bu yüzden zayıf etkileşime çeşni dinamiği de denmektedir.



Tabii ki hapis hipotezinden dolayı soldaki diyagram direk gözlenemez. Aynı diyagram çevrilerek pion'un bozunması olarak yorumlanabilir.

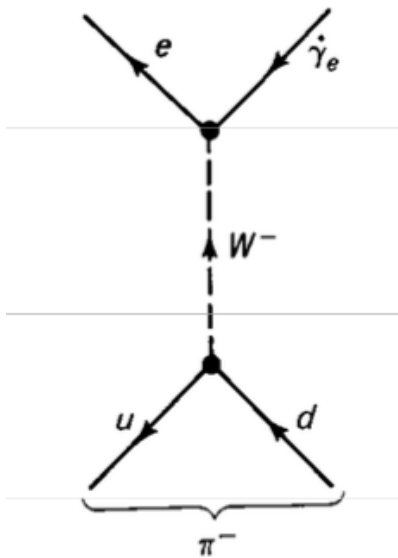
zaman ↑



Temel Parçacık Dinamikleri

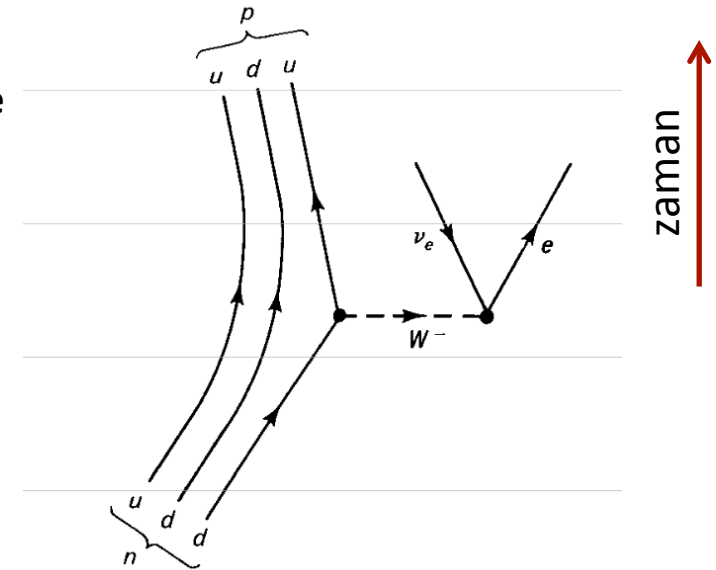
Zayıf Etkileşimler

Kuarklar ve Zayıf Etkileşimleri



Pion'un bozunumu

Kuarklar bilinmeden önce
bu iki bozunumun bu
kadar benzer olduğu da
bilinemiyordu



Nötron'un beta bozunumu