

KISA KISA FİZİK

İçindekiler

Parçacık Fizigi.....	2
Doğadaki 4 Temel Kuvvet.....	2
Parçacık Fizigi Birimleri	2
Atom Çekirdeğindeki Parçacıklar	3
Feynman Diyagramları	3
Kuantum Elektrodinamiği (KED).....	4
Kuantum Renk Dinamiği (KRD = QCD).....	4
Grassman Sayıları (süper sayı)	4
Standart Model (SM)	4
Karşı (anti) parçacık	5
Simetriler	5
Süper simetri	6
Süper Uzay	7
Kuarklar	7
Tarihsel Gelişim	13
Kaynaklar	15
İnternet Sayfaları:	15
Videolar:	15
Kitaplar:	15
Uygulamalar:	15

Parçacık Fiziği

Parçacık fiziği maddenin yapıtaşlarının neler olduğunu ve bu temel yapıtaşlarının birbirleri ile nasıl etkileştiklerini (temel etkileşimleri) anlamaya çalışır.

Doğadaki 4 Temel Kuvvet

- ⚡ Elektromanyetik kuvvet (aracı parçacık: foton¹)
- ⚡ Kütleçekim kuvveti (!! Diğerlerine kıyasla çok zayıf etkileşim olduğundan parçacık fiziğinde dikkate alınmamaktadır)
- ⚡ Zayıf Etkileşim Kuvveti
- ⚡ Kuvvetli Etkileşim Kuvveti (aracı parçacık: gluon)

Özellik/Etkileşim	Kütle Çekimi	Elektromanyetik	Elektro-zayıf (zayıf nükleer güç)	Güçlü
Etkileşme Nedeni	Kütle-enerji	Elektrik yükü	Kuark türü	Renk yükü
Etkileşenler	Hepsi	Elektrik yüklü tüm parçacıklar	Kuarklar, leptonlar	Kuarklar, gluonlar
Taşıyıcılar (aracı parçacık)	Graviton (?) ²	Foton	W ve Z bozonları	gluon
Kuark düzeyindeki kuvveti	10 ⁻⁴¹	1	10 ⁻⁴	10

Eylemsizlik Kuvveti: Evrende madde her zaman ilk hareketini korumak ister: Yani duruyorsa durmak, hareket halindeyse o hızda harekete devam etmek ister. (Bir cisme uygulanan hiçbir kuvvet yoksa ya da cisme uygulanan kuvvetlerin bileşkesi sıfır ise cisim ilk hareketini korur, yani ya hareketsiz kalır ya da düzgün doğrusal hareket yapar.) Cisme bir kuvvet uygulandığında cisim harekete ters yönde cevap vererek ilk halini korumak isteyecektir, bu cevaba eylemsizlik kuvveti denir.³

Parçacık Fiziği Birimleri

eV (elektronvolt): Bir elektronun boşlukta bir voltluk elektrostatik potansiyel farkı katederek kazandığı kinetik enerji miktarı = 1.6×10^{-19} Joule

Ölçüm	Birim	Birimin SI ⁴ Değeri
Enerji	eV	$1,602176634 \times 10^{-19}$ J
Kütle	eV/c ²	$1,782662 \times 10^{-36}$ kg
Momentum	eV/c	$5,344286 \times 10^{-28}$ kg·m/s

¹ Elektromanyetik alan Higgs ile etkileşmez, bu yüzden foton kütesizdir. Foton alanı vektördür ve gerçek sayılardan oluşur, yani bu vektörel büyüklüklerin fazları yoktur bu sebeple fotonların elektrik yükü yoktur.

² Graviton, henüz gözlemlenememiştir

³ https://tr.wikipedia.org/wiki/Eylemsizlik_kuvveti

⁴ SI: Système international d'unités (Uluslararası Birimler Sistemi)

Sıcaklık	eV/k_B	$1,160451 \times 10^4$ K
Zaman	\hbar/eV	$6,582119 \times 10^{-16}$ s
Uzaklık	$\hbar c/eV$	$1,97327 \times 10^{-7}$ m
Alan	$(GeV/\hbar c)^{-2}$	

Elektrik yükü (q) boyutu: $(FL^2)^{1/2} = (EL)^{1/2} = (\hbar c)^{1/2}$

Kuantum mekaniğinden → eylemin birimi : \hbar
 Görelilikten → ışığın hızı : c
 Parçacık fiziğinden → enerji birimi : GeV

Proton durgun-kütle enerjisi: $\sim 938 \text{ MeV}/c^2 = 1.67 \times 10^{-24} \text{ g}$

$\hbar = 1.054571726 \times 10^{-34}$
 $J.s = 6.58211928 \times 10^{-22} \text{ MeV.s}$
 $\hbar c = 197.3269718 \text{ MeV.fm}$
 $(\hbar c)^2 = 0.389379338 \text{ GeV}^2 \cdot \text{mbarn}$
 $K = 1.3806488 \times 10^{-23} \text{ J.K}^{-1} = 8.6173324 \times 10^{-5} \text{ eV.K}^{-1}$

Sıkça Kullanılan Çevrimler:

1 T = 10^4 G 1 N = 10^5 dyn⁵ 1 J = 10^7 erg⁶
 1 A° = 0.1 nm 1 barn⁷ = 10^{-28} m² 1 C $\cong 2.9979 \times 10^9$ esu⁸
 1 eV/c² $\cong 1.78 \times 10^{-36}$ kg 1 çalışma yılı $\cong 10^7$ s

Atom Çekirdeğindeki Parçacıklar

Feynman Diyagramları

- ✚ Zaman eksenini çizilmiş düz çizgiler yüklü fermiyonları gösterir
- ✚ Zaman eksenini aksi yönünde çizilmiş çizgiler, karşıt (anti) parçacıkları gösterir
- ✚ Dalgalı çizimler aracı (etkileşim) parçacıklarını gösterir
- ✚ Spiral gösterimler kuvvet taşıyıcı parçacıklardır
- ✚ Gösterimlerin kesiştiği noktalar etkileşim noktalarıdır
- ✚ Etkileşim öncesi ve sonrasına bakıldığında momentum ve elektrik yükü korunmalıdır.
- ✚ Feynman diyagramları, gerçek olayın çok fazla açıklamasını içermiyor görünse de, (içerdiği sanal parçacıklar yaklaşımı sayesinde) etkileşim sonuçlarının gözlemlene olasıklarını hesaplamamız veya etkileşim sonrası momentumları belirleyebilmemiz için güçlü bir araçtır

⁵ dyn : kuvvet birimi

⁶ erg: erke (enerji) birimi

⁷ Barn: herhangi bir saçılma sürecinin tesir kesitini ifade etme amacıyla parçacık fiziğinin tüm alanlarında, parçacıklar arasındaki etkileşim olasılığını ölçmek için kullanılan, SI olmayan, bir alan birimi

⁸ esu : elektrostatik yük birimi

Kuantum Elektrodinamiği (KED)

Elektrik Yüğü → Atomlar → Moleküller

Kuantum Renk Dinamiği (KRD = QCD)

Renk Yüğü → Baryonlar → Atom Çekirdeği

Grassman Sayıları (süper sayı)

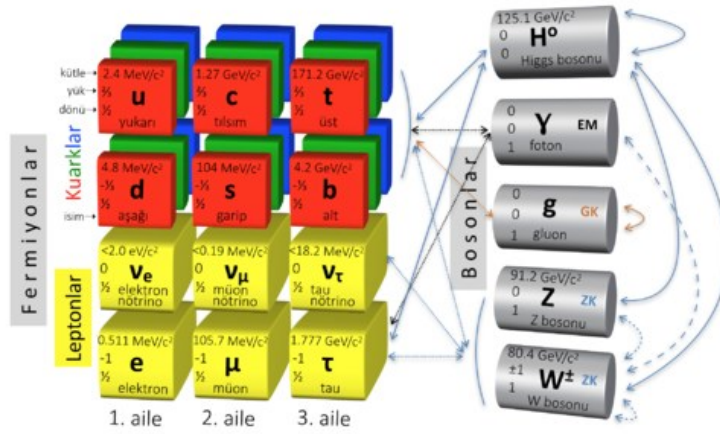
✚ Fermiyonları tanımlamakta kullanılan grassman sayıları geçişli değildir. Yani:

$$\theta_A \times \theta_B = -\theta_B \times \theta_A$$

✚ Bir grassman sayının karesi daima sıfırdır: $\theta^2 = 0$ (iki bozon, aynı anda aynı kuantum durumunda olabilirler ancak bu durum fermiyonlar için mümkün değildir, yani iki fermiyona karşılık gelen grassman sayıları aynı ise yani iki fermiyon aynı anda aynı konumda ise bu sayıların çarpımı (karesi) sıfır olacağından fermiyonlar için "aynı anda aynı durumda" olmaları mümkün değildir: **Pauli Exclusion Principle**)

Standart Model (SM)

SM, temel parçacıkları ve onlar arasındaki güçlü, elektromanyetik ve zayıf etkileşimleri açıklayan bir modeldir. Ancak kütleçekim kuvveti gibi açıklayamadığı hususlar vardır.



Standard Model of Elementary Particles and Gravity



Karşı (anti) parçacık

Her parçacığın bir karşı parçacığı vardır. Bu iki parçacık çifti tüm özellikleriyle (kütle, spin, ortalama ömür, ...) birbirinin aynısıdır, ancak elektrik yükü, baryon sayısı, lepton aile sayısı gibi kuantum sayıları birbirinin tersidir. (Bununla birlikte, π^0 mezonu, foton gibi bazı yüksüz parçacıkların karşı parçacığı kendisidir)

- Genelde, karşı parçacık, parçacık simgesinin üzerine bir çizgi çekilerek gösterilir.
- Yüklü leptonların karşı parçacıkları: e^+ : anti elektron = pozitron, μ^+ : antimüon, τ^+ : antitau

Simetriler

Fizik yasaları zamanda ötelemeye göre simetriktir (dün olduğu gibi bugün de aynı biçimdedir). Genel anlamda simetrilere korunum yasaları eşlik eder:

Simetri	Korunum Yasası
Zamanda öteleme	Enerji
Uzayda öteleme	Çizgisel Momentum
Dönme	Açısal momentum
Ayar Dönüşümü	Yük

Noether Teoremi: (Emmy Noether) 23.7.1918'de ortaya konulan bu teoreme göre, bir fiziksel sistemde ayırt edilebilir her kesintisiz düzgün simetrisinin oluşturacağı etkiye ilişkin bir korunum yasası olduğunu belirtir (Teorem, simetri ve koruma yasalarını birbirine bağlar).

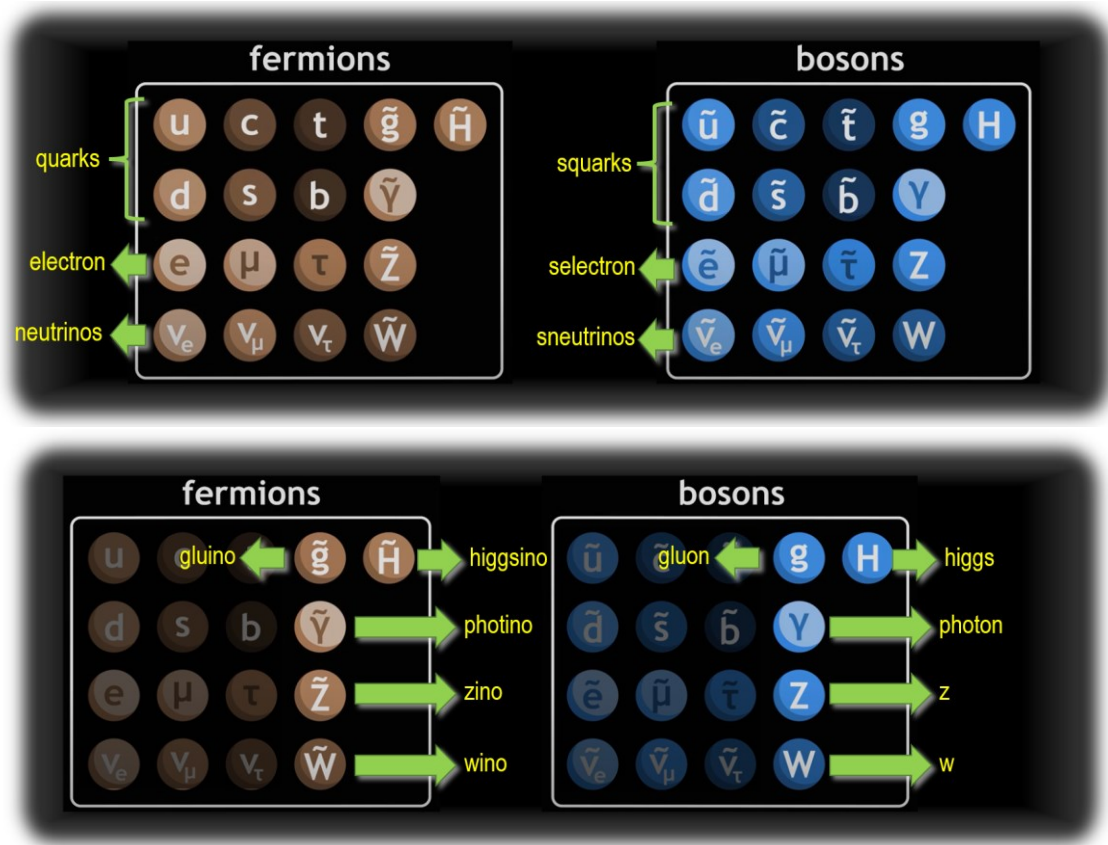
Örneğin elektron yükleri kompleks sayıdır ve bu kompleks sayının fazının (referans seviyesi) değiştirilmesi elektronun fiziki durumunda bir değişiklik yaratmaz. Buradaki referansın değiştirilmesi, simetriye karşılık gelir ve Noether teoremine göre elektrik yükünün korunduğunu gösterir. Aynı şekilde ayrılan 2 parça için birisi diğerinin saptığı yönün zıt yönünde yön değiştirir (momentumun korunması).

Süper simetri

Süper simetri, elektromanyetizmayı, zayıf etkileşimi, güçlü etkileşimi ve kütleçekimini tek bir birleşik kuvvette toplamasının yanı sıra, bozon ve fermiyonların olduğu parçacık grupları arasındaki varsayımsal simetriyi açıklayan kuramdır.

**** The anti-particle is the complex conjugate of the ordinary particle. (i.e., one with + charge the other is – charge = anti-matter)**

Süper simetri, higgs bozonunun kütlesi ile ilgili soruna da çözüm sağlar. Hesaplamalara göre higgs bozonunun diğer parçacıklarla etkileşimi yoğun kütesinin olmasını gerektirirken gerçekte daha hafiftir. Süper simetri ile fermiyon ve bozonlarda süper eş'ler eklendiğinden bu problem çözülür (*Bu çözüm için süper eş'lerin kütesinin eşleniğinden daha ağır olması gerekir ancak ağır parçacıkların tespiti daha çok enerji gerektirir ve maalesef şu ana kadar yapılan deneylerde henüz süper eş tespit edilememiş ve ölçülememiştir. Bu sebeple süper simetri henüz hipotez aşamasındadır*). Bu kapsamda M teorisi, süper sicim kuramının tüm tutarlı versiyonlarını birleştirerek her şeyin kuramı olmaya en muhtemel aday olarak 1995'de Edward Witten tarafından öne sürülmüştür.



Şekil-2: Süper simetri

Particle	Symbol	Spin	Superparticle	Symbol	Spin
Quark	q	$\frac{1}{2}$	Squark	\tilde{q}	0
Electron	e	$\frac{1}{2}$	Selectron	\tilde{e}	0
Muon	μ	$\frac{1}{2}$	Smuon	$\tilde{\mu}$	0
Tauon	τ	$\frac{1}{2}$	Stauon	$\tilde{\tau}$	0
W boson	W	1	Wino	\tilde{W}	$\frac{1}{2}$
Z boson	Z	1	Zino	\tilde{Z}	$\frac{1}{2}$
Photon	γ	1	Photino	$\tilde{\gamma}$	$\frac{1}{2}$
Gluon	g	1	Gluino	\tilde{g}	$\frac{1}{2}$
Higgs	H	0	Higgsino	\tilde{H}	$\frac{1}{2}$

Standart Model'deki parçacıklar ve Süper eş'leri

Süper Uzay

Uzay-zaman'ın, birisi sayılardan (üzerinde bozonların yer aldığı), diğeri grassman sayılarından (üzerinde fermiyonların yer aldığı) oluşan birbirine paralel iki kopyaya (plakaya) bölündüğünü düşünelim. Süper simetri, simetrinin bir uzay-zaman plakasından diğere geçişi (sayıların grassman sayılarına dönüşümü) düşüncesidir. Bu yapıya süper uzay denir ve evren burada (x, θ) olarak tarif edilir. Burada her plakadaki parçacık diğere plakada eşine sahiptir.

Kuarklar

İsim	Sembol	Elektrik Yükü	
Yukarı (up)	u	2/3	Uzun Ömürlü (Birinci nesil)
Aşağı (down)	d	-1/3	
Tılsım (charm)	c	2/3	Kararsız (İkinci nesil)
Garip ⁹ (strange)	s	-1/3	
Üst (top)	t	2/3	En Kararsız (Üçüncü nesil)
Alt (bottom)	b	-1/3	

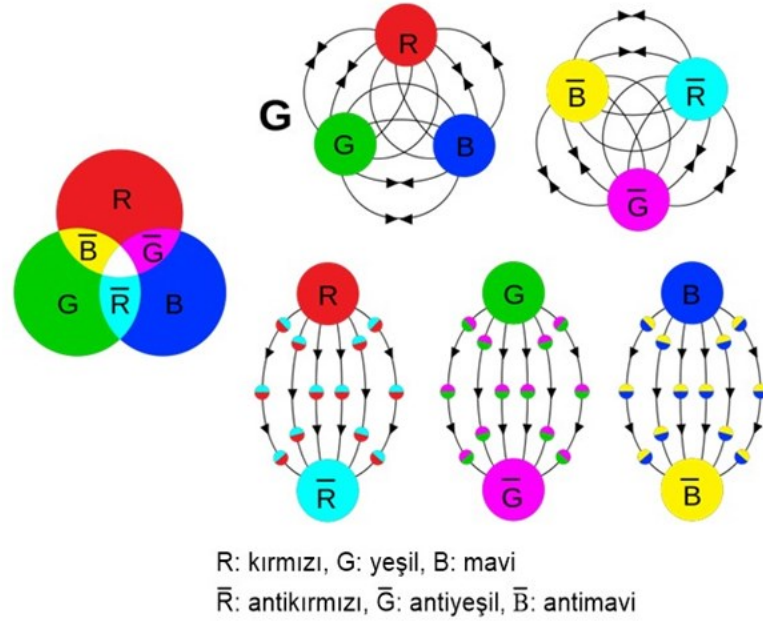
Tablo-1

- Kuarklar temel parçacıklardır¹⁰
- Kuarklar tek başlarına bulunmazlar
- Kuarklar birleşerek hadron adı verilen bileşik parçacıkları (bağlı durum) oluştururlar (*en kararlı olanları proton ve nötronlardır*)
- Temel özellikleri:** elektrik yükü, kütle, renk yükü, dönüş (spin)
 - Elektrik yükü:** Her kuark türü tablo-1'de gösterilen elektrik yükünü taşır.
 - Kütle,** kuarklar ile onu çevreleyen gluon alanının kütesidir. Gluonlar kütesiz olmakla birlikte, sahip oldukları bağlanma enerjisi, hadronların kütlelerinin çoğunluğunu oluşturur. Gluon'lar kendileri ile de etkileşebilirler ve renk yükü taşırlar, 8 değişik varyasyonu vardır.

⁹ Garip (acayıp) parçacıklar, daima çiftler halinde üretilir. 10^{-23} saniyede üretilip 10^{-10} saniyede bozunurlar

¹⁰ **Temel Parçacık:** Bir iç yapısı olmayan, yani daha küçük bileşenlerden oluşmayan parçacık

- **Renk yükü¹¹**, Oscar W. Greenberg tarafından tanıtılmıştır. Renk yükü kuarkların güçlü etkileşime girmelerini sağlar. Kuarkların taşıdığı (temsili) mavi, yeşil ve kırmızı renk yükleri, anti kuarkların taşıdığı anti renk yükleriyle (anti mavi, anti yeşil, anti kırmızı) tamamlanır. Bu renkler ve farklı kombinasyonları ile yüklenmiş kuarklar arasında **gluon**'lar aracılığıyla oluşan çekme ve itme işlemine **güçlü etkileşim** denir. Bu etkileşim kısa menzillidir (çekirdeğin içi, 10^{-15} m.) Bir renk ile yüklenmiş kuark bunun anti rengiyle yüklü anti kuark ile bağlı sistem oluşturabilir ve 0 (*sıfır*) renk yüklü bir mezona oluşur. Farklı renk yüklü 3 kuark (anti kuark), yine 0 (*sıfır*) renk yüklü baryonu (anti baryonu) oluşturur. (*Etkileşimde renk korunur. Örneğin yeşil renkli bir kuarktan etkileşimle iki kuark çıkarsa bunlardan birisi mavi ise diğeri anti mavi ve yeşili taşıyan bir parçacık olmalıdır ki etkileşime giren renklerin toplamı, etkileşimden çıkan renklerin toplamına eşit olsun*)



- **Spin**, Planck Sabiti (h) birimi ile ölçülen bir vektörle temsil edilebilir. Kuarklar için, spin vektör bileşeninin herhangi bir eksen boyunca ölçümü yalnızca $+h/2$ veya $-h/2$ değerindedir. Bu nedenle kuarklar $1/2$ spinli parçacıklar olarak sınıflandırılır

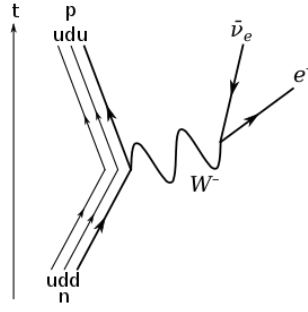
- ✚ Parçacık fiziğinin standart modelinde dört temel kuvveti deneyimleyen tek temel parçacıklardır
- ✚ Elektrik yükleri, temel yükün tam sayı katı değildir
- ✚ “Yukarı” ve “Aşağı” kuarklar, en düşük kütleli ve stabil kuarklardır. Daha ağır kuarklar, parçacık bozunması¹² süreciyle hızla yukarı ve aşağı kuarklara dönüşürler
- ✚ Her kuark türü için aynı kütle, ömür ve spin değerine sahip ancak bazı özellikleri (mesela elektrik yükü) zıt işarette olacak şekilde antikuark’lar vardır. Antikuark’lar, kuark simgesinin üzerinde bir bar (çizgi) ile gösterilirler
- ✚ Hadronların kuantum sayısını belirleyen kuarklara **değerlik kuarkları** (*valence quarks*) denir
- ✚ Bir kuark **zayıf etkileşim kuvveti** ile başka bir kuark’a dönüşebilir. Örneğin bir yukarı tip (*up / charm / top*) kuark, W bozonu emerek aşağı tip (*down / strange / bottom*) kuark’a dönüşebilir. Bu dönüşüm, beta bozunmasının radyoaktif sürecine sebep olur.¹³ Zayıf etkileşim menzili kısa menzillidir (10^{-18} m.)

¹¹ Kuarklar renkli değildir. Renk analogisi, birleşimlerinin beyazı (renksiz) oluşturması veya anti renklerin daha iyi anlaşılabilmesi, renk ile anti rengin nötr (beyaz) rengi oluşturması gibi kavramları daha iyi açıklayabilmek için oluşturulmuştur.

¹² **Bozunma**: Kararsız bir parçacığın iki veya daha fazla parçacığa ayrılması

¹³ Bu dönüşüm rutin olarak sağlık alanında (PET: pozitron emisyon tomografisi, MR: Manyetik Rezonans) kullanılır

Beta Bozunmasının Feynman Diagramı



(bir nötron W^- bozonu yayarak protona [içindeki $-1/3$ yüklü d -tip bir kuark $2/3$ yüklü u -tip kuark'a] dönüşür ve bu sırada çıkan -1 yüke sahip W^- parçacığı da bozunarak bir yüklü leptona [-1 yüklü elektrona] ve onun antinötrinosuna [yüksüz] dönüşür)

Bağlı Durumlar: İki veya daha fazla parçacığın bir araya gelerek kompozit bir yapı oluşturmasıdır

Hadron¹⁴: Çekirdeğin içinde, kuarkların / mezonların birleşerek oluşturduğu parçacıklar → **madde parçacığı**

- ✚ (spin: buçuklu) ≡ **Fermiyon**
- ✚ Aradaki mezon alışverişi ile (bozonlar sayesinde) kararlı parçacıklar ortaya çıkar
- ✚ Bu olay esnasındaki kuvvet **güçlü etkileşim**dir ve çekirdeği parçalanmadan tutar
- ✚ Fermi-Dirac istatistiklerine uyarlar
- ✚ Aynı anda aynı kuantum durumunda olamazlar
- ✚ Temel fermiyonlar her biri 2 lepton ve 2 kuark içeren üç nesilde gruplandırılmıştır (şekil-1). Daha yüksek nesillerdeki parçacıklar genellikle daha büyük kütle ve daha az kararlılığa sahiptir, bu da onların zayıf etkileşimler yoluyla daha düşük nesil parçacıklara dönüşmelerine neden olur. Doğada yalnızca birinci nesil (yukarı ve aşağı) kuarklar yaygın olarak bulunur. Daha ağır kuarklar ancak yüksek enerjili çarpışmalarda yaratılabilir ve hızla bozulur.
- ✚ Higgs alanıyla yaptıkları Yukawa etkileşimiyle kütle kazanırlar
- ✚ Süper simetri (şekil-2) kuramına göre fermiyon'un süper eşi bozundur

Hadron (Kompozit Parçacıklar)

Baryon

Mezon

Proton

Neutron

Delta

Lambda

Sigma

Omega

Ksi

Kaon

Pion

Ro

Eta

Fi

J/psi

B

D

Omega

Upsilon

Baryon¹⁵: 3 quarktan oluşur

$$\text{Proton} \equiv uud \rightarrow \text{Yük} = 2/3 + 2/3 - 1/3 = 1$$

$$\text{Nötron} \equiv udd \rightarrow \text{Yük} = 2/3 - 1/3 - 1/3 = 0$$

$$\text{Hidrojen} = p + e$$

$$\text{Helyum} = n + n + p + p + e + e$$

¹⁴ "Hadron" ismi, Yunanca'da "iri, güçlü" anlamındaki "hadros" tan gelir

¹⁵ "Baryon" kelimesi, Yunanca'da "ağır" anlamındadır

Mezon¹⁶: Bir kuark ve bir antikuarktan oluşur → etkileşim (taşıyıcı) parçacığı

✚ (spin: tam sayılı) ≡ **Bozon**

✚ **Ayar Bozonları:**

- **Gluon** → kuvvetli etkileşim (kuark'ları birarada tutar)
- **photon¹⁷** → electromanyetik etkileşim, ışık
- **Z⁰ boson¹⁸** → zayıf etkileşim (parçacıkların radyoaktif etkileşimleri)
- **W⁺ W⁻ boson¹⁹** → zayıf etkileşim (parçacıkların radyoaktif etkileşimleri)

✚ **Diğer Bozonlar:**

- **Higgs**: Higgs bozonu, parçacıkların Higgs alanı ile etkileşmesini sağlar. Böylece parçacık etkileşim miktarı ile orantılı olarak kütle kazanır.
- **Graviton**: Kütleçekimi sağladığı düşünülmektedir ancak henüz gözlemlenemediği için hipotez boyutunda kalmıştır.

✚ Bose-Einstein istatistiklerine uyarlar

✚ Aynı anda aynı kuantum durumunda olabilirler

✚ Kütle sahibidir:

- $M_Z = 90 \text{ GeV}/c^2$
- $M_W = 81 \text{ GeV}/c^2$

Pion mezonu: $u\bar{d} \rightarrow \text{Yük} = 2/3 + 1/3 = 1$ (π^+ , π^- , π^0)

❖ Higgs parçacığının spin değeri 0'dır.

Graviton:

- Kütleçekim etkileşimini taşıyan kuramsal parçacıktır
- Deneysel olarak henüz gözlemlenememiştir
- Özellikleri:
 - Kütlesiz (kütle çekim etkisi sonsuz mesafeli)
 - Spin'i 2 (tensor bozon)
 - Elektrik yükü yok, yaşam ömrü sonsuz (kararlı)

Lepton²⁰: Çekirdeğin dışındaki parçacıklar → [electron, muon, tau], antiparçacıklar [pozitron, antimuon, antitau] ve nötrinoları

- Doğada serbest bulunabilirler
- Her parçacığın kendi nesline ait nötrino'su vardır
- Leptonların yükleri -1'dir, nötrino'lar yüksüzdür
- Spin'leri kesirlidir yani lepton'lar fermiyon'dur
- Karşıt (anti) parçacığı vardır

¹⁶ "Mezon" kelimesi, Yunanca'da "orta" anlamındadır

¹⁷ Gluon ile foton'un yükü ve kütlesi yoktur

¹⁸ Z bozonu sıfır yüklüdür ve kendisinin anti parçacığıdır

¹⁹ W bozonu + veya - yüklüdür. Bunlar birbirinin anti parçacığıdır

²⁰ "Lepton" ismi, Yunanca'da "hafif" anlamındaki "leptos" tan gelir

Standard Model of Elementary Particles

	three generations of matter (elementary fermions)			three generations of antimatter (elementary antifermions)			interactions / force carriers (elementary bosons)	
	I	II	III	I	II	III		
mass	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$-\frac{2}{3}$	$-\frac{2}{3}$	$-\frac{2}{3}$	0	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
	u up	c charm	t top	\bar{u} antiup	\bar{c} anticharm	\bar{t} antitop	g gluon	H higgs
	d down	s strange	b bottom	\bar{d} antidown	\bar{s} antistrange	\bar{b} antibottom	γ photon	
	e electron	μ muon	τ tau	e^+ positron	$\bar{\mu}$ antimuon	$\bar{\tau}$ antitau	Z Z ⁰ boson	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	$\bar{\nu}_e$ electron antineutrino	$\bar{\nu}_\mu$ muon antineutrino	$\bar{\nu}_\tau$ tau antineutrino	W⁺ W ⁺ boson	W⁻ W ⁻ boson

QUARKS (purple text)

LEPTONS (green text)

GAUGE BOSONS VECTOR BOSONS (red text)

SCALAR BOSONS (yellow text)

Şekil 1: Standart Model

- ✚ Kararsız atom çekirdekleri (radyoaktif maddelerin çekirdekleri) **zayıf etkileşim** ile parçalanır
- ✚ Tüm parçacıkların bir anti-parçacığı vardır (Örnek: pozitron \equiv anti elektron)

Standard Model of FUNDAMENTAL PARTICLES AND INTERACTIONS

The Standard Model summarizes the current knowledge in Particle Physics. It is the quantum theory that includes the theory of strong interactions (quantum chromodynamics or QCD) and the unified theory of weak and electromagnetic interactions (electroweak). Gravity is included on this chart because it is one of the fundamental interactions even though not part of the "Standard Model."

FERMIONS

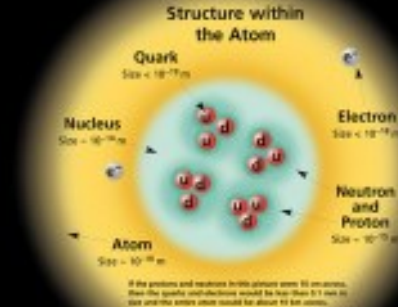
matter constituents
spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

Leptons spin = 1/2			Quarks spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_e electron neutrino	<1·10 ⁻⁹	0	u up	0.003	2/3
e electron	0.000511	-1	d down	0.006	-1/3
ν_μ muon neutrino	~0.0002	0	c charm	1.3	2/3
μ muon	0.106	-1	s strange	6.1	-1/3
ν_τ tau neutrino	<0.02	0	t top	175	2/3
τ tau	1.7771	-1	b bottom	4.3	-1/3

Spin is the intrinsic angular momentum of particles. Spin is given in units of \hbar , which is the quantum unit of angular momentum, where $\hbar = 1.054 \cdot 10^{-34}$ GeV·s = $1.054 \cdot 10^{-34}$ J·s.

Electric charges are given in units of the proton's charge, so 3/3 units the electric charge of the proton is $1.602 \cdot 10^{-19}$ coulombs.

The **energy** unit of particle physics is the electronvolt (eV), the energy gained by one electron in crossing a potential difference of one volt. **Masses** are given in GeV/c² (sometimes $E = mc^2$), where 1 GeV = 10^9 eV = $1.602 \cdot 10^{-10}$ joule. The mass of the proton is $0.938 \text{ GeV}/c^2 = 1.67 \cdot 10^{-27}$ kg.



If the protons and neutrons in this nucleus were 10 meters, then the quarks and electrons would be less than 1 mm in size and the entire atom would be about 100 m across.

BOSONS

force carriers
spin = 0, 1, 2, ...

Unified Electroweak spin = 1			Strong (color) spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge	Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0	g gluon	0	0
W^+	80.4	-1			
W^-	80.4	+1			
Z^0	91.187	0			

Color Charge
Each quark carries one of three types of "strong charge," also called "color charge." These charges have nothing to do with the colors of visible light. There are eight possible types of color charge for gluons, but as electrically charged particles interact by exchanging photons, in strong interactions color-charged particles interact by exchanging gluons. Leptons, photons, and W and Z bosons have no strong interactions and hence no color charge.

Quarks Confined in Mesons and Baryons
One cannot isolate quarks and gluons; they are confined in color-neutral particles called hadrons. This confinement (confinement) results from multiple exchanges of gluons among the color-charged constituents. As color-charged particles (quarks and gluons) move apart, the energy in the color-force field between them increases. This energy eventually is converted into additional quark-antiquark pairs (see figure below). The quarks and antiquarks then combine into hadrons; these are the particles seen to emerge. Two types of hadrons have been observed in nature: mesons (q and \bar{q}) and baryons (qqq).

Residual Strong Interaction
The strong binding of color-neutrals of protons and neutrons to form nuclei is due to residual strong interactions between their color-charged constituents. It is similar to the residual electromagnetic interaction that binds electrically neutral atoms to form molecules. It can also be viewed as the exchange of mesons between the hadrons.

PROPERTIES OF THE INTERACTIONS

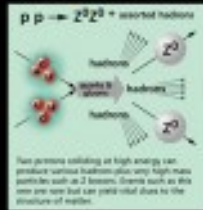
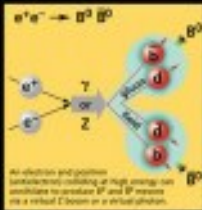
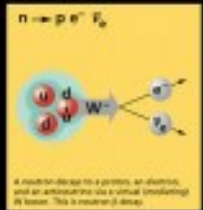
Baryons (qqq) and Antibaryons ($\bar{q}\bar{q}\bar{q}$)					
Baryons are fermions; hadrons. There are about 120 types of baryons.					
Type/Label	Name	Quark content	Electric charge	Max. Spin	Spin
p	proton	uud	1	0.938	1/2
\bar{p}	anti-proton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	0.938	1/2
n	neutron	udd	0	0.940	1/2
\bar{n}	anti-neutron	$\bar{u}\bar{d}\bar{d}$	0	1.136	1/2
Δ^+	omega	sss	-1	1.672	3/2

Property	Interaction	Gravitational	Weak (Hadronweak)	Electromagnetic	Strong
		Mass + Energy	Flavor	Electric Charge	Parity/Charge Conjugation
Acts on:		All	Quarks, Leptons	Electrically charged	Quarks, Gluons
Particles experiencing:		All	Quarks, Leptons	Electrically charged	Quarks, Gluons
Particles mediating:		Graviton (not yet observed)	W^+ , W^- , Z^0	γ	Gluons
Strength (relative to electromagnetism):		10^{-42}	0.8	1	21
for two quarks at:		10^{-41}	10^{-6}	1	80
for two protons in nucleus:		10^{-36}	10^{-17}	1	Not applicable to hadrons

Mesons (q \bar{q})					
Mesons are bosons; hadrons. There are about 150 types of mesons.					
Type/Label	Name	Quark content	Electric charge	Max. Spin	Spin
π^+	pion	u \bar{d}	+1	0.140	0
K^+	kaon	u \bar{s}	+1	0.494	0
ρ^+	rho	u \bar{d}	+1	0.770	1
ϕ	phi	$s\bar{s}$	0	1.019	0
η_c	eta	$c\bar{c}$	0	2.980	0

Matter and Antimatter
For every particle type there is a corresponding antiparticle type, denoted by a bar over the particle symbol (unless + or - charge is shown). Particle and antiparticle have identical mass and spin but opposite charges. Some electrically neutral bosons (e.g., Z^0 , γ , and η_c), but not e^+ or e^- are their own antiparticles.

Figures
These diagrams are an artist's conception of physical processes. They are not meant to have any meaningful scale. Green shaded areas represent the cloud of gluons or the gluon field, and red lines the quark paths.



The Particle Adventure
Visit the award-winning web feature The Particle Adventure at MPO/ParticleAdventure.org.

This chart has been made possible by the generous support of:
U.S. Department of Energy
U.S. National Science Foundation
Lawrence Berkeley National Laboratory
Stanford Linear Accelerator Center
Brookhaven National Laboratory, Division of Particle and Field Studies
BURLIN TECHNOLOGIES, INC.

©2006 Contemporary Physics Education Project. CPEP is a non-profit organization for all teachers, physicists, and education. Send mail to: CPEP, 4850, University Parkway, Berkeley, CA, 94720. For information on charts, text materials, hands-on classroom activities, and worksheets, visit: <http://CPEPweb.org>

Tarihsel Gelişim

1687: Isaac Newton → klasik fizik mekaniğinin temeli, evrensel kütleçekim yasası, üç hareket yasası

Newton'un hareket yasaları: Eylemsizlik Yasası, Dinamiğin Temel Prensipleri, Etki-Tepki Yasası

1831: Faraday → Elektromanyetik İndüksiyon

1861: James Clerk Maxwell → Maxwell denklemleri

Gauss yasası²¹, Manyetizma için Gauss yasası²², Maxwell–Faraday denklemleri²³, Maxwell–Ampère yasası²⁴

1868: Dimitri Mendeleev (Дмитрий Иванович Менделеев) → Elementlerin periyodik sistemi

1895: Wilhelm Röntgen → X ışınları

1896: Henri Becquerel → Radyoaktivite

1897: J. J. Thomson → Elektron'un keşfi (parçacık fiziğinin başlangıcı olarak da kabul edilir)

1899: Max Planck → Siyah cisim radyasyon yasası

1900: Max Planck → Kuantum teorisi

1905: Albert Einstein → Özel görelilik kuramı

1905: Albert Einstein → Fotoelektrik etki

1909: Ernest Rutherford → Çekirdek atom modeli (Çekirdeğin keşfi)

1912: Charles Wilson → Sis odası deneyi

1913: J. J. Thomson → Kararlı izotopların keşfi

1914: Niels Bohr → Klasik atom modeli

1914: Henry Moseley → X-ışınları ile atomdaki nükleer yüklerin saptanması

1919: F. W. Aston → Kütle spektrometresi

1909: Ernest Rutherford → Proton'un keşfi [Thomson'un öğrencisi]

1923: A. H. Compton → Compton Saçılması²⁵, fotonun varlığı, parçacık doğası

1925: Wolfgang Pauli → Dışarlama İlkesi

1926: Erwin Schrödinger → Schrödinger Denklemleri

1927: Werner Heisenberg → Heisenberg Belirsizlik İlkesi

1930: Wolfgang Pauli → Nötrino Hipotezi

1931: Anderson → Pozitron'un keşfi

1932: Chadwick → Nötron'un keşfi [Rutherford'un öğrencisi]

1934: Hideki Yukawa → "Mu Mezon" önerisi

1937: Anderson ve Nedermeyer → Mu Mezon'unun gözlemlenmesi (keşfi)

1945: Powell ve Ekibi → Müon ve pi-mezon keşfi

1955: Bevatron → Antiproton'un keşfi

1964: O. W. Greenberg → Renk Yükü'nün tanıtılması

1978: Alman Elektron Eşzamanlayıcısı DESY → Gluon'un keşfi

1983: CERN UA1 ve UA2 takımları → W ve Z Bozonlarının keşfi

2012: CERN → Higgs bozonunun gözlemlenmesi (keşfi)

²¹ Gauss yasası, statik elektrik alan ile elektrik yükleri arasındaki ilişkiyi tanımlar: statik elektrik alan, pozitif yüklerden negatif yüklere doğru işaret eder ve elektrik alanın kapalı bir yüzeyden net çıkışı, malzemenin polarizasyonundan kaynaklanan bağlı yük dahil olmak üzere, kapalı yük ile orantılıdır.

²² Manyetizma için Gauss yasası, kapalı bir yüzeyden geçen net manyetik akının sıfır olduğunu gösterir.

²³ Faraday yasası: İletken çerçeveyle çevrelenmiş bir yüzeyden geçen manyetik akının zamanla değişimi, bu çerçevede bir indüksiyon emk' sı oluşturur. Bu emk, devreden geçen manyetik akının zamanla değişiminin negatifine eşittir.

²⁴ Maxwell düzeltilmeli Ampere yasası, manyetik alanın iki yoldan üretilebileceğini belirtmektedir: elektrik akımı yoluyla (bu gerçek "Ampere yasası"dır) ve elektrik alanını değiştirme yoluyla (bu "Maxwell düzeltmesi" kısmıdır)

²⁵ Saçılma: Bir parçacığı diğer parçacık ile çarpıştırıp saçılması, ilerleme yönünün sapması

Elektromanyetik Etkileşme:

- [Carl Friedrich Gauss](#)
- [Michael Faraday](#)
- [Andre Marie Ampere](#)
- [James Clerk Maxwell](#)

Kaynaklar

Internet Sayfaları:

1. Atomaltı parçacık: https://tr.wikipedia.org/wiki/Atomalt%C4%B1_par%C3%A7ac%C4%B1k
2. Quark: <https://en.wikipedia.org/wiki/Quark>
3. Nükleer Fizik: Atom altı parçacıkların dünyası <https://evrimagaci.org/nukleer-fizik-atom-alti-parcaciklarin-dunyasi-8948>
4. Süper simetri: <https://tr.wikipedia.org/wiki/S%C3%BCpersimetri>
5. Grassman number: https://en.wikipedia.org/wiki/Grassmann_number
6. M-Theory: <https://en.wikipedia.org/wiki/M-theory>
7. Deneysel yüksek enerji fiziği yaz okulu - 2018: <https://www.youtube.com/@lidyeflidyef1075/videos>
8. Standart Model: https://tr.wikipedia.org/wiki/Standart_Model
9. Renk Yüğü: <http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/renk-yuku-renk-yuku-kuantum-renk.html>
10. Physics beyond the Standard Model: https://en.wikipedia.org/wiki/Physics_beyond_the_Standard_Model
11. Ayar Teorisi: <http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/gauge-ayar-teorisi-ayar-teorisi-veya.html>
12. Timeline of fundamental physics discoveries: https://www.wikiwand.com/en/Timeline_of_fundamental_physics_discoveries

Videolar:

1. Quantum World (*Play List*): <https://www.youtube.com/playlist?list=PLu7cY2CPiRjUa8yLHubgucgm5EYonVAe>
 - a. Standard Model: https://www.youtube.com/watch?v=44k7cMj_kpY
 - b. String Theory: <https://www.youtube.com/watch?v=n7cOlBxtKSo>
 - c. The Symmetry of the Universe: https://www.youtube.com/watch?v=hF_uHfSoOGA
 - d. Supersymmetry: <https://www.youtube.com/watch?v=0GUTJQCeKBE>
 - e. Quantum Field Theory: <https://www.youtube.com/watch?v=MmG2ah5Df4g>
 - f. Quantum Electrodynamics & Feynman Diagrams: <https://www.youtube.com/watch?v=X-FEU4mQWtE>

Kitaplar:

1. "Particle Physics", B.R. Martin and G. Shaw, 3rd edition, John Wiley & Sons, 2008
2. "Introduction to Elementary Particles", D. Griffiths, Wiley, 2nd revised edition, 2013
3. Quarks and Leptons-An Introductory Course on Modern Particle Physics, 1987
4. The Standard Model:A Primer, 2007
5. Dynamics of the Standard Model, 2014

Uygulamalar:

1. Jaxodraw – Feynman Diagram'larını çizmek için açık kaynak program: <https://jaxodraw.sourceforge.io/>

Mini bilgiler:

- Vektörlerin skalar çarpımı, bu vektörlerden birinin diğeri üzerindeki izdüşümüdür
- Vektörlerin vektörel çarpımı, bu iki vektörün oluşturduğu düzleme dik yeni bir vektördür
- Maxwell: “Elektromanyetik dalgaların hızı ışık hızıdır ve ışık da bir elektromanyetik dalgadır”
- ∇ : x , y ve z'ye göre türev alma
- Newton:
 - Kinetik Enerji : $K = mV^2$ (joule)
 - Momentum : $p = mV$ (kg m/s veya N s)
 - Kuvvet : $F = dp/dt = m a$ (Newton veya N)
 - Etkileşim sonucu:
 - Enerji korunur
 - Momentum korunur
 - Kütle korunur
- Einstein:
 - Toplam Enerji : $E = \text{kütle enerjisi} + \text{kinetik enerji} = \sqrt{m^2c^4 + p^2c^2} \xrightarrow{p \ll mc} \sim mc^2 + \frac{1}{2}mV^2$
 $c = 1$ seçersek $E^2 - p^2 = m^2$

Potansiyel enerji: $E = m \times g \times h$