



FİZ0424 PARÇACIK FİZİĞİ

*Ankara Üniversitesi
Fen Fakültesi Fizik Bölümü
9. Hafta*

AYSUHAN OZANSOY

İçerik:

1. Simetriler ve Gruplar
2. Parçacık Fiziğinde Kesikli Simetriler
3. İçsel Simetriler

1. Simetriler ve Gruplar:

Bir sistem üzerine uygulandığında onu değişmez bırakan işlemler simetri işlemleridir.



Simetriler \longleftrightarrow Korunum Yasaları arasındaki ilişki (Noether Teoremi, 1917)

Doğada tüm simetriler bir korunum yasasına yol açar, başka bir ifade ile her korunum yasası altında yatan bir simetriyi açıklar (Emmy Noether, 1882-1935)

Simetri	Korunum Yasası	
Zaman Ötelemesi	Enerjinin Korunumu	} Uzay - zaman simetrisi
Uzaysal Öteleme	Çizgisel Momentumun Korunumu	
Dönme	Açısal Momentumun Korunumu	
Ayar Dönüşümü	"Yük" Korunumu	→ İçsel simetri

→ Çizgisel ve açısal momentumun korunumu tüm etkileşme türleri için geçerlidir.

→ Örneğin, ayar dönüşümleri altında elektrodinamiğin invaryantlığı elektrik yükünün korunumuna yol açar.

→ Simetri işlemleri bir grup oluşturur. Bir kümenin bir işleme göre grup oluşturabilmesi için kapalılık, birleşme, birim eleman ve ters eleman özellikleri sağlanmalıdır.

Parçacık Fiziğinde Önemli Bazı Gruplar

Grup adı	Boyut	Gruptaki Matrisler
$U(n)$	$n \times n$	Üniter $UU^\dagger = U^\dagger U = 1$
$SU(n)$	$n \times n$	"Special" (det $U=1$) ve üniter
$O(n)$	$n \times n$	Ortogonal $\tilde{O}O = O\tilde{O} = 1$
$SO(n)$	$n \times n$	"Special" (det $O=1$) ve ortogonal

2. Parçacık Fiziğinde Kesikli Simetriler:

1. Parite (P): Bir orijine göre uzaysal terslenme

$$\begin{pmatrix} ct \\ x \\ y \\ z \end{pmatrix} \xrightarrow{P} \begin{pmatrix} ct \\ -x \\ -y \\ -z \end{pmatrix}$$

$$\hat{P}\psi(\mathbf{r}, t) \equiv P_a \psi(-\mathbf{r}, t)$$

$$\hat{P}^2 \psi(\mathbf{r}, t) = \psi(\mathbf{r}, t)$$

$$P_a = \pm 1$$

Kesikli öz değerler

$$\vec{r} \xrightarrow{P} -\vec{r},$$

$$\vec{p} = m\vec{v} \xrightarrow{P} -m\vec{v} = -\vec{p},$$

$$r = (\vec{r} \cdot \vec{r})^{\frac{1}{2}} \xrightarrow{P} [(-\vec{r}) \cdot (-\vec{r})]^{\frac{1}{2}} = (\vec{r} \cdot \vec{r})^{\frac{1}{2}} = r,$$

$$p = (\vec{p} \cdot \vec{p})^{\frac{1}{2}} \xrightarrow{P} [(-\vec{p}) \cdot (-\vec{p})]^{\frac{1}{2}} = (\vec{p} \cdot \vec{p})^{\frac{1}{2}} = p$$

vektör

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} \xrightarrow{P} (-\vec{r}) \times (-\vec{p}) = \vec{r} \times \vec{p} = \vec{L}$$

Aksiyel vektör (pseudo vektör)

$$\vec{a} \cdot (\vec{b} \times \vec{c}) \xrightarrow{P} (-\vec{a}) \cdot (-\vec{b} \times -\vec{c}) = -\vec{a} \cdot (\vec{b} \times \vec{c})$$

pseudo skaler

skaler

Scalar	:	$P(s) = s$
Pseudoscalar	:	$P(p) = -p$
Vector (or polar vector)	:	$P(\mathbf{v}) = -\mathbf{v}$
Pseudovector (or axial vector)	:	$P(\mathbf{a}) = \mathbf{a}$

→ Parite invariant bir teoride parite korunur ve bir vektörle bir aksiyel vektör toplanmaz. Zayıf etkileşmeler pariteyi korumaz.

Parite İhlali:

'tau-theta puzzle'

$$\theta^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^0$$

$$(P = (-1)^2 = +1)$$

$$\tau^+ \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \pi^+ + \pi^0 + \pi^0 \\ \pi^+ + \pi^+ + \pi^- \end{array} \right\}$$

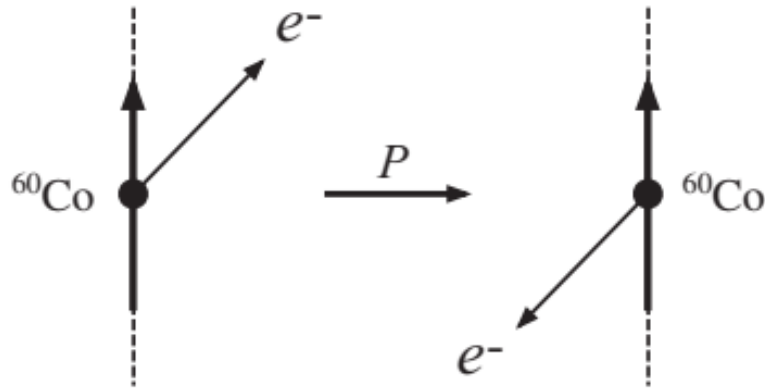
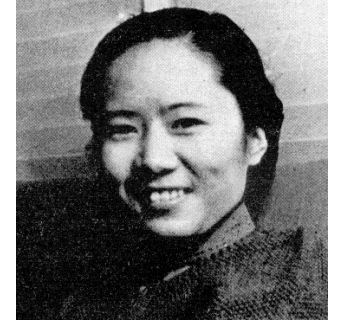
$$(P = (-1)^3 = -1)$$

→ τ ve θ aynı parçacık mı? Kütle, ortalama ömür ve spinleri aynı, zayıf etkileşme yoluyla bozunuyor. Ancak içsel pariteleri farklı.

1954-1956 Tau-Theta Bilmecesi

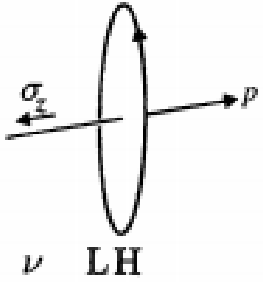


- 1956 T. Lee and C. Yang → Zayıf etkileşmelerde paritenin korunmadığını söylediler. (Lee 29, Yang 33 yaşında !!)
- Birkaç ay sonra C. S. Wu deneysel olarak kanıtladı.
- 1957 Nobel Fizik Ödülü Lee ve Yang' a verildi.

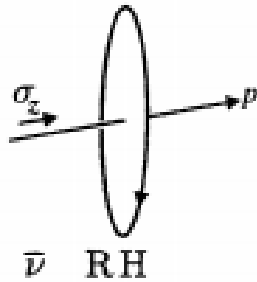


Beta yayınlayıcısı bir kobalt kaynak, mutlak sıfıra kadar soğutulup güçlü bir manyetik alana yerleştiriliyor. Co çekirdeklerinin manyetik momentleri alana paralel yöneliyor. Yayınlanan elektronların yayınlanma doğrultusunun alana zıt yönde olduğu görülüyor.

Helisite



-1 helisiteli
durum



+1 helisiteli
durum

$$h = \frac{\hat{\sigma} \cdot \vec{p}}{|\vec{p}|}$$

Parçacığın spin açısal momentum vektörünün hareket doğrultusuna izdüşümü



Nötrinolar sol eli (LH) ve antinötrinolar sağ eli (RH) dir.

→ Helisite ve chirality arasında küçük bir teknik fark var. Kütleless parçacıklar için birbirine eşit.

Helisite	Chirality
Hareket doğrultusuna spin izdüşümü ile ilgili	Zayıf yükle ilgili
Operatörü: $h = \frac{\hat{\sigma} \cdot \vec{p}}{ \vec{p} }$	Operatörü: $\frac{1}{2}(1 \pm \gamma^5)$
LH ve RH fiziksel ellilik (Baş parmak hareket doğrultusunu gösteriyor, kıvrılan parmaklar spin yönünü)	LH ve RH bir etiketleme
Lorentz invariant bir nicelik değil.	Lorentz invariant

- | | | |
|-----|---|-------------------|
| (1) | $\bar{\psi}\psi = \text{scalar}$ | (one component) |
| (2) | $\bar{\psi}\gamma^5\psi = \text{pseudoscalar}$ | (one component) |
| (3) | $\bar{\psi}\gamma^\mu\psi = \text{vector}$ | (four components) |
| (4) | $\bar{\psi}\gamma^\mu\gamma^5\psi = \text{pseudovector}$ | (four components) |
| (5) | $\bar{\psi}\sigma^{\mu\nu}\psi = \text{antisymmetric tensor}$ | (six components) |

→ Dirac spinörleri ile kurulan bilineer kovaryantlar

$$\bar{\psi} \equiv \psi^\dagger \gamma^0 \quad \sigma^{\mu\nu} \equiv \frac{i}{2}(\gamma^\mu \gamma^\nu - \gamma^\nu \gamma^\mu)$$

Temel etkileşmelerin köşe faktörlerine tekrar bakalım:

$-ig_e q \gamma^\mu$	(QED)
$\frac{-ig_s}{2} \lambda^a \gamma^\mu$	(QCD)
$\frac{-ig_w}{2\sqrt{2}} \gamma^\mu (1 - \gamma^5) V_{ij}$	(EW/W)
$\frac{-ig_z}{2} \gamma^\mu (c_V^f - c_A^f \gamma^5)$	(EW/Z)

Vektör tipli

Vektör - aksiyel vektör
(V-A) tipli

2. Yük Eşlenikliği (C): Q bütün içsel kuantum sayılarını göstermek üzere C, işlemcisi $Q \rightarrow -Q$ şeklinde değiştirir. Yük eşlenikliği işlemcisi parçacığı antiparçacığına dönüştürür.

$$Q \xrightarrow{C} -Q$$

$$\hat{C}|a\Psi\rangle = |\bar{a}\Psi\rangle$$

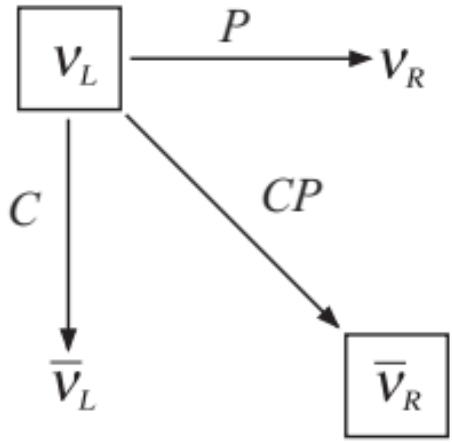
$$|\psi(Q, \vec{r}, t)\rangle \xrightarrow{C} |\psi(-Q, \vec{r}, t)\rangle$$

$$\begin{aligned} \vec{E} &\xrightarrow{C} -\vec{E} \\ \vec{B} &\xrightarrow{C} -\vec{B} \end{aligned}$$

$$\hat{C}|\alpha\Psi\rangle = C_\alpha|\alpha\Psi\rangle$$

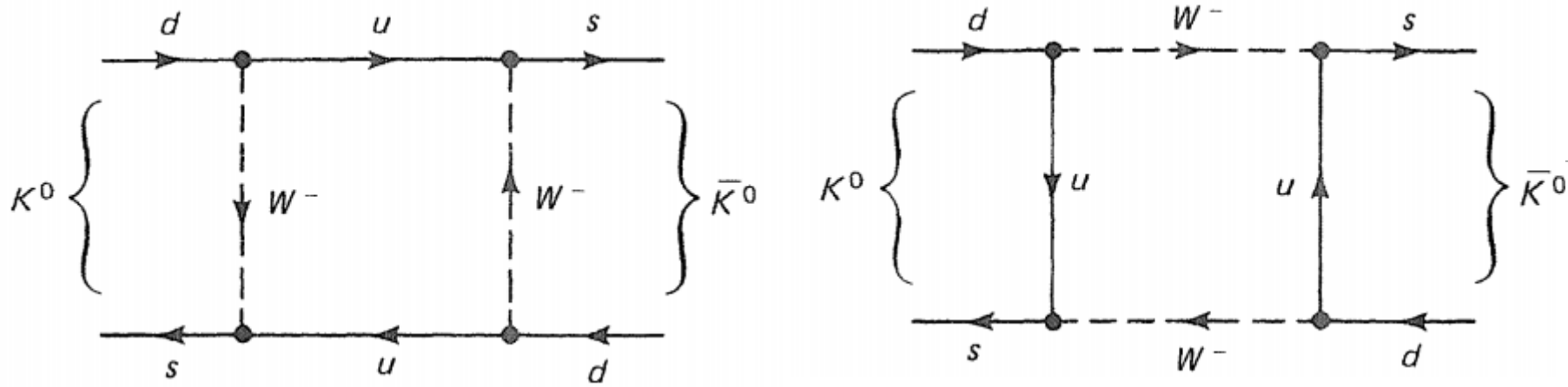
$C_\alpha = \pm 1$ C öz değerleri

→ Çok az sayıdaki nötral parçacık C öz durumudur; foton, pi-sıfır mezon, eta mezon gibi



C ve P simetrileri ayrı ayrı, Zayıf Etkileşmeler için iyi simetriler değil. CP Simetrisi zayıf etkileşmeler için korunuyor görünüyor. Ancak nötral mezon salınımlarında CP simetrisinin ihlali gözlemlendi.

Nötral K mezon Salınımları



$$CP|K^0\rangle = -|\bar{K}^0\rangle, \quad CP|\bar{K}^0\rangle = -|K^0\rangle$$

CP simetrisi bir parçacığı zıt helisiteli antiparçacığına çeviriyor.

$$|K_1\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right) (|K^0\rangle - |\bar{K}^0\rangle) \quad |K_2\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right) (|K^0\rangle + |\bar{K}^0\rangle) \quad \text{Normalize CP öz durumları}$$

$$CP|K_1\rangle = |K_1\rangle$$

$$CP|K_2\rangle = -|K_2\rangle$$

+1 ve -1 CP özdeğerli durumlar

3. Zaman Terslenmesi (T): Zaman ekseninin tersine çevrilmesi

$$t \rightarrow t' = -t$$

$$\begin{aligned} t &\xrightarrow{T} -t, \\ \vec{r} &\xrightarrow{T} \vec{r}, \\ \vec{p} = m\dot{\vec{r}} &\xrightarrow{T} -m\dot{\vec{r}} = -\vec{p}, \\ \vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} &\xrightarrow{T} \vec{r} \times (-\vec{p}) = -\vec{L} \end{aligned}$$

$$\psi(\vec{r}, t) \xrightarrow{T} \psi(\vec{r}, -t)$$

→ Bir teorinin formalizmine zaman terslenmesini yerleştirmek diğer simetrilere olduğu gibi açık değil. Fiziksel olarak zaman terslenmesi altında değişmezlik, $i \rightarrow f$ süreci için geçiş genliğinin $f \rightarrow i$ için geçiş genliği ile aynı büyüklükte olması demektir.

$$|M_{i \rightarrow f}| = |M_{f \rightarrow i}|$$

CPT Simetrisi:

- CPT tüm etkileşimler için gerçek bir simetridir. Lorentz dönüşümleri altında invariant olan herhangi bir teori için CPT bir simetridir.
- CPT değişmezliğinin sonuçları: Bozonlar ve fermiyonların uyduğu istatistiklerin farklı oluşu; parçacık ve antiparçacıkların aynı kütle ve yaşam süresine sahipken iç kuantum sayılarının farklı oluşu.

3. İÇSEL SİMETRİLER:İZOSPİN

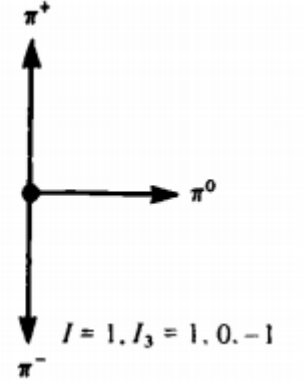
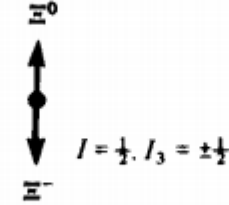
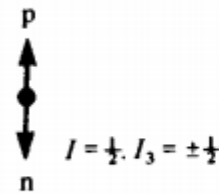
- Nükleer kuvvet proton-proton, proton-nötron ve nötron-nötron etkileşmeleri için ayırım yapmıyor.
- p ve n kütleleri neredeyse aynı.

→ İlk fikir: 1932 W. Heisenberg, p ve n nükleon denilen bir parçacığın farklı iki durumu.

İzospin (güçlü izospin) yeni bir kuantum sayısı, güçlü etkileşmelerde korunuyor.

Nükleon sistemi için izospin $I=1/2$

$$p \equiv \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad n \equiv \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$
$$N = \begin{pmatrix} p \\ n \end{pmatrix}$$



- Bir çokludaki parçacık sayısını sayarak izospin değeri bulunabilir: n parçacık sayısını göstermek üzere:

$$I = \frac{n-1}{2}$$

- I_3 : İzospinin 3. bileşeni. -I'dan +I' ya kadar 2I+1 tane değer alır.

$$p = \left| \frac{1}{2} \frac{1}{2} \right\rangle, \quad n = \left| \frac{1}{2} -\frac{1}{2} \right\rangle$$

Pi-mezonları üçlü oluşturur.

$$\pi^+ = |1 1\rangle, \quad \pi^0 = |1 0\rangle, \quad \pi^- = |1 -1\rangle$$

Lambda baryon tekli oluşturur.

$$\Lambda = |0 0\rangle$$

Y: Hiper yük

Güçlü Hiper Yük Tanımı $\rightarrow Y=A+S$ (Baryon sayısı+ Acayıklık sayısı)

Daha sonra $Y=A+S+C+B$ (Baryon sayısı+ Acayıklık sayısı +Tılsımlılık sayısı + Altık sayısı)

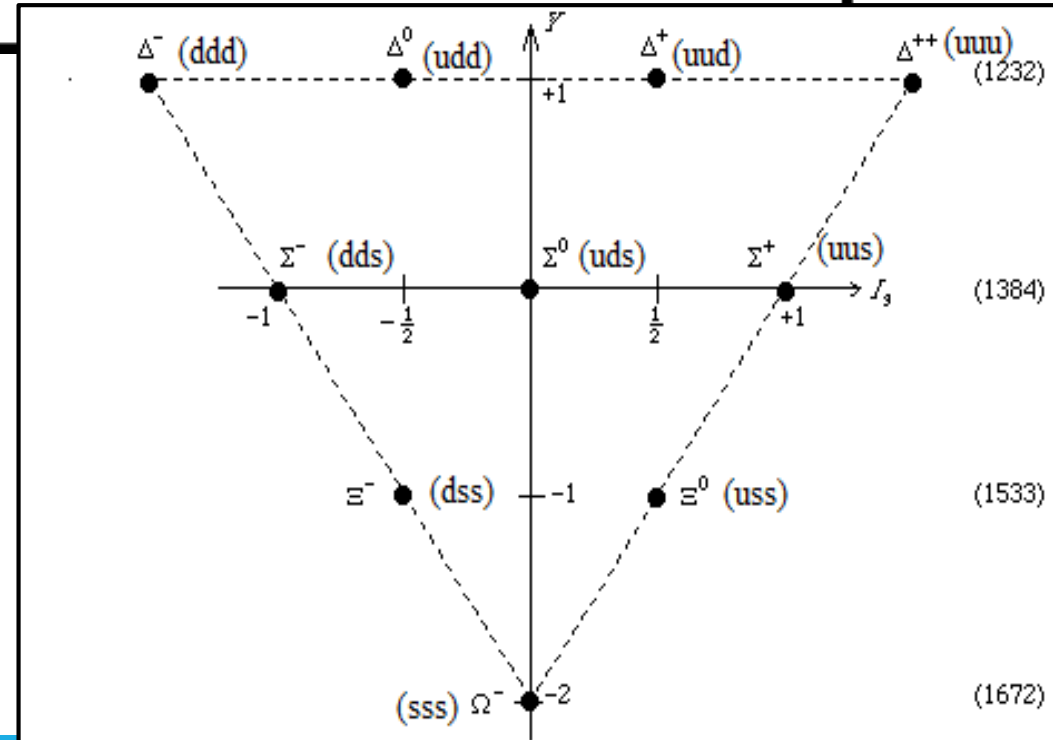
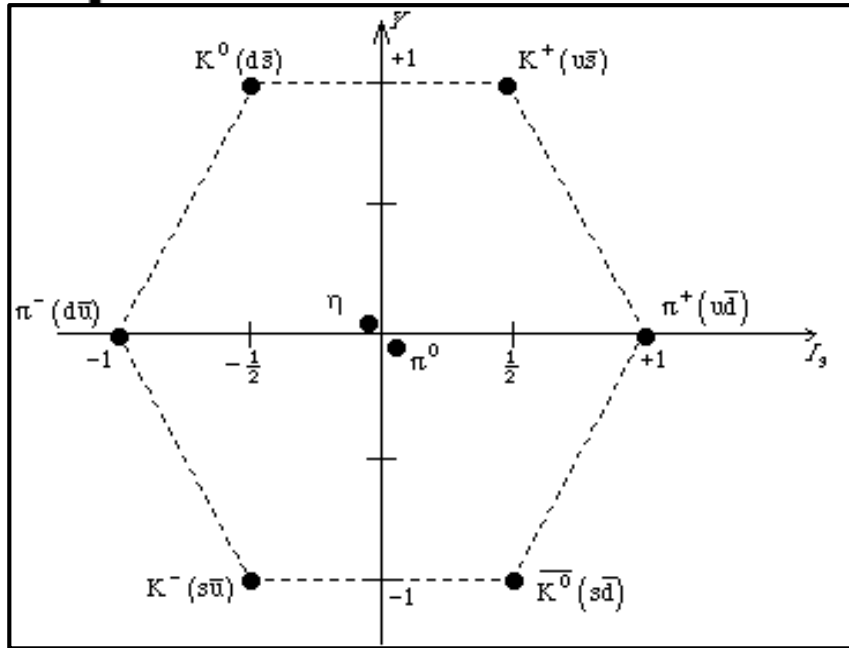
(S,C,B \rightarrow kuark çeşnilerine karşılık gelen kuantum sayıları)

I: İzospin

I_3 : İzospinin 3. Bileşeni

Q: elektrik yükü

$Q=I_3+Y/2 \rightarrow$ Gell-Mann – Nishijima Formülü



Etkileşmeler ve Korudukları Kuantum Sayıları

Etkileşme	A (Baryon Sayısı)	Çeşni Kuantum Sayıları (S,C,B)	I_3 (İzospin 3. bileşen)	I (İzospin)	P (Parite)
Güçlü	✓	✓	✓	✓	✓
EM	✓	✓	✓	X	✓
Zayıf	✓	X	X	X	X

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>