

Mezon Baryon Etkileşme Sabitleri, Simetriler ve QCD Toplam Kuralları

A. Özpineci

ODTÜ Fizik Bölümü
ozpineci@metu.edu.tr

24 Şubat 2010

Sunum Taslağı

- 1 QCD
 - QCD ve Hadronlar
 - QCD'nin Simetrileri
 - Eşleşme Sabitleri
 - Hadronlarda Karışma
- 2 QCD Toplam Kuralları ve Eşleşme Sabitleri
 - İlişkilendirme fonksiyonları arasındaki bağıntılar
- 3 Sonuçlar

Outline

1 QCD

- QCD ve Hadronlar
- QCD'nin Simetrileri
- Eşleşme Sabitleri
- Hadronlarda Karışma

2 QCD Toplam Kuralları ve Eşleşme Sabitleri

- İlişkilendirme fonksiyonları arasındaki bağıntılar

3 Sonuçlar

- Hadronlar'ı oluşturan kuarkların etkileşmelerini açıklayan QCD 40 yıldan fazladır aramızda.
- QCD hala tam anlaşılmış değil
- QCD kuarkların hadronların içinde hapsolmasını öngörür mü, öngörmez mi? Henüz bilmiyoruz
- Düşük enerjilerde, QCD eşleşme sabiti büyük değerler alır, dolayısı ile tedirgeme kuramını kullanamayız.
- Tedirgemeye dayanmayan bir yöntem ve/veya simetrileri kullanarak gözlemlenebilirler arasında ilişkiler bulmaya ihtiyaç duyarız

Outline

- 1 QCD
 - QCD ve Hadronlar
 - QCD'nin Simetrileri
 - Eşleşme Sabitleri
 - Hadronlarda Karışma
- 2 QCD Toplam Kuralları ve Eşleşme Sabitleri
 - İlişkilendirme fonksiyonları arasındaki bağıntılar
- 3 Sonuçlar

QCD'nin Simetrileri

- QCD Lagranj Yoğunluğu:

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4} G_{\mu\nu}^a G^{a\mu\nu} + \sum_q \bar{q}_L \mathcal{D} q_L + \sum_q \bar{q}_R \mathcal{D} q_R + \sum_q m_q (\bar{q}_L q_R + \bar{q}_R q_L)$$

- Eğer kuarklar kütsesiz olsalardı $m_q = 0$, ($q = u, d, s$) QCD Lagranj yoğunluğunun global

$$\begin{aligned} U(3)_L \otimes U(3)_R &= SU(3)_L \otimes SU(3)_R \otimes U(1)_L \otimes U(1)_R \\ &= SU(3)_V \otimes SU(3)_A \otimes U(1)_V \otimes U(1)_A \end{aligned}$$

simetrisi olacaktı.

$$\begin{aligned} q_L &\rightarrow e^{i\alpha_L} q_L \\ q_R &\rightarrow e^{i\alpha_R} q_R \end{aligned}$$

- $SU(3)_A$ simetrisi doğada kendiliğinden bozulur. Ortaya çıkan Goldstone bozonları 0^- pionlar, kaonlar ve η parçacığıdır.
- $SU(3)_V$ simetrisi ise doğada kendini (yaklaşık olarak) gösterir.
- $U(1)_A$ simetrisi anomali içeren bir simetridir, yani kuantum teorisinin gerçek bir simetrisi değildir. (η' problemi)
- $U(1)_V$ simetrisi toplam baryon sayısının korunumuna karşılık gelir.

- Kuark kütleleri $SU(3)_A$ simetrisini açık olarak kırarlar, dolayısı ile Goldstone bozonları kütsesiz değil küçük kütlelidir. (kütleleri kuarkların kütlesi ile orantılıdır)
- $SU(3)_V$ simetrisini ise kuark kütleleri değil, kütle farkları açık olarak kırarlar.
- Kütle farklarını ihmal edersek, kütleler sıfırdan farklı bile olsa $SU(3)_V$ simetrimiz vardır.

- Doğada, u ve d kuarkın kütleleri çok küçüktür.
 $m_{u,d}/\Lambda_{QCD} < 0.1$
- s kuarkın kütlesi ise daha büyüktür $m_s/\Lambda_{QCD} \simeq 1$, ancak yine de baryonların kütlelerine oranla oldukça küçüktür.
- Kuark kütleleri arasındaki fark ise daha küçüktür.
- $SU(3) \rightarrow SU(2) \otimes U(1)$
 - $SU(2)$ izospin simetrisi
 - $U(1)$: Acayiplik kuantum sayısının korunumu

Outline

1 QCD

- QCD ve Hadronlar
- QCD'nin Simetriteri
- **Eşleşme Sabitleri**
- Hadronlarda Karışma

2 QCD Toplam Kuralları ve Eşleşme Sabitleri

- İlişkilendirme fonksiyonları arasındaki bağıntılar

3 Sonuçlar

Eşleşme Sabitleri

- Simetriler, Hamilton'un öz durumlarını (yani gözlemlediğimiz parçacıkları), simetri dönüşümleri arasında birbirine dönüşen durumlardan oluşan guruplara/çoklulara ayırırlar ve eşleşme sabitleri arasında bağıntılar öngörürler
- 3 kuarktan oluşan çoklular:

$$3 \otimes 3 \otimes 3 = 10 \oplus 8 \oplus 8 \oplus 1$$

ve bir kuark ile bir anti-kuarktan oluşan çoklular

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

olarak indirgenemez çoklularına ayrılabilir.

- 8liler, T_{β}^{α} şeklinde, rank iki bir tensor (matriks) şeklinde gösterilebilir.
- B_{β}^{α} baryon okteti, M_{β}^{α} mezon okteti gösterebilir
- $SU(3)$ simetrisi olan bir Lagranj yoğunluğu yazmak için, $\bar{B}_{\beta}^{\alpha}$, B_{δ}^{γ} , M_{ω}^{η} faktörlerini bir her aşağı indekse, bir yukarı indeks gelecek şekilde çarpmalıyız:

$$\mathcal{L} \propto (D+F)\bar{B}_{\beta}^{\alpha}B_{\delta}^{\beta}M_{\alpha}^{\delta} + (D-F)\bar{B}_{\beta}^{\alpha}B_{\alpha}^{\delta}M_{\delta}^{\alpha} = F\text{Tr}\bar{B}[B, M] + D\text{Tr}\bar{B}\{B, M\}$$

- Bütün eşleşme sabitleri, iki parametre cinsinden yazılır.
- $\mathcal{L} \rightarrow \mathcal{L} + M_1 \text{Tr}\bar{B}B$. (M_1 , 1lidedeki mezon)

Outline

1

QCD

- QCD ve Hadronlar
- QCD'nin Simetrileri
- Eşleşme Sabitleri
- **Hadronlarda Karışma**

2

QCD Toplam Kuralları ve Eşleşme Sabitleri

- İlişkilendirme fonksiyonları arasındaki bağıntılar

3

Sonuçlar

- $SU(3)$ simetrisi kırılmış bir simetri.
- Aynı korunan kuantum sayılarına ait durumlar, kendiliğinden birbirine dönüşebilir.
- Kütle öz durumları, bu durumların lineer birleşimidir. Örn: ν karışımı
- $SU(3)$ simterisi kütle farkları tarafından bozulmuştur, yine de QCD çeşni kuantum sayısını korur.

- $\pi^0(\rho^0) = (\bar{u}u - \bar{d}d)/\sqrt{2}$, $\eta_8(\omega_8) = (\bar{u}u + \bar{d}d - 2\bar{s}s)/\sqrt{6}$ ve $\eta_1(\omega_1) = (\bar{u}u + \bar{d}d + \bar{s}s)/\sqrt{3}$ aynı çeşni kuantum sayısına sahiptir.
- Hiç bir korunan kuantum sayısı, bu mezonları birbirinden ayırmaz.
- $m_u - m_d$ ihmal edilir ise, izospin kuantum sayısı $\pi^0(\rho^0)$ durumunun diğerleri ile karışmasını engeller.

- Fiziksel $\eta(\omega)$ ile $\eta'(\phi)$, $\eta_8(\omega_8)$ ile $\eta_1(\omega_1)$ 'in karışımından oluşmuştur:

$$\begin{aligned}\eta(\omega) &= \cos \theta_{\eta(\omega)} \eta_8 + \sin \theta_{\eta(\omega)} \eta_1 \\ \eta'(\phi) &= -\sin \theta_{\eta(\omega)} \eta_8 + \cos \theta_{\eta(\omega)} \eta_1\end{aligned}$$

- Deneysel olarak

$$\eta \simeq \frac{1}{\sqrt{6}}(\bar{u}u + \bar{d}d - 2\bar{s}s), \quad \eta' \simeq \frac{1}{\sqrt{3}}(\bar{u}u + \bar{d}d + \bar{s}s)$$

ve

$$\omega \simeq \frac{1}{\sqrt{2}}(\bar{u}u + \bar{d}d), \quad \phi \simeq \bar{s}s$$

- Baryon oktet:

$$B_{\beta}^{\alpha} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}}\Sigma^0 + \frac{1}{\sqrt{6}}\Lambda & \Sigma^+ & p \\ \Sigma^- & -\frac{1}{\sqrt{2}}\Sigma^0 + \frac{1}{\sqrt{6}}\Lambda & n \\ \Xi^- & \Xi^0 & -\frac{2}{\sqrt{6}}\Lambda \end{pmatrix}$$

- (Sankiskalar) Mezon oktet:

$$P_{\beta}^{\alpha} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}}\pi^0 + \frac{1}{\sqrt{6}}\eta & \pi^+ & K^+ \\ \pi^- & -\frac{1}{\sqrt{2}}\pi^0 + \frac{1}{\sqrt{6}}\eta & K^0 \\ K^- & \bar{K}^0 & -\frac{2}{\sqrt{6}}\eta \end{pmatrix}$$

ve tekli(singlet) η'

QCD Toplam Kuralları ve Eşleşme Sabitleri

- $SU(3)_f$ simetri yok ise, eşleşme sabitleri arasında ne gibi ilişkiler olabilir?
- QCD toplam kurallarında incelediğimiz ilişkilendirme fonksiyonu:

$$\begin{aligned}\Pi &= i \int d^4x e^{ipx} \langle \mathcal{M}(q) | \mathcal{T} \eta_{B_1}(x) \bar{\eta}_{B_2}(0) | 0 \rangle \\ &= \sum_{h_1, h_2} \frac{\langle 0 | \eta_{B_1} | h_1(p) \rangle}{p^2 - m_{h_1}^2} \langle \mathcal{M} h_1(p) | h_2(p+q) \rangle \frac{\langle h_2(p+q) | \eta_{B_2} | 0 \rangle}{(p+q)^2 - m_{h_2}^2}\end{aligned}$$

- η_B operatörlerini seçerken $SU(3)$ simetriyi kullanabiliriz.



$$\begin{aligned}\eta^{\Sigma^0} &= \sqrt{\frac{1}{2}} \epsilon^{abc} [(u^{aT} C s^b) \gamma_5 d^c + t (u^{aT} C \gamma_5 s^b) d^c \\ &\quad + (d^{aT} C s^b) \gamma_5 u^c + t (d^{aT} C \gamma_5 s^b) u^c] \\ \eta^{\Sigma^+} &= -\frac{1}{\sqrt{2}} \eta^{\Sigma^0} (d \rightarrow u), \quad \eta^{\Sigma^-} = \frac{1}{\sqrt{2}} \eta^{\Sigma^0} (u \rightarrow d) \\ \eta^p &= \eta^{\Sigma^+} (s \rightarrow d), \quad \eta^n = \eta^{\Sigma^-} (s \rightarrow u) \\ \eta^{\Xi^0} &= \eta^n (d \rightarrow s), \quad \eta^{\Xi^-} = \eta^p (u \rightarrow s)\end{aligned}$$

ve

$$\begin{aligned}2\eta_{\Sigma^0}(d \leftrightarrow s) + \eta_{\Sigma^0} &= -\sqrt{3}\eta_{\Lambda} \\ 2\eta_{\Sigma^0}(u \leftrightarrow s) - \eta_{\Sigma^0} &= -\sqrt{3}\eta_{\Lambda}\end{aligned}$$

Outline

1 QCD

- QCD ve Hadronlar
- QCD'nin Simetrileri
- Eşleşme Sabitleri
- Hadronlarda Karışma

2 QCD Toplam Kuralları ve Eşleşme Sabitleri

- İlişkilendirme fonksiyonları arasındaki bağıntılar

3 Sonuçlar

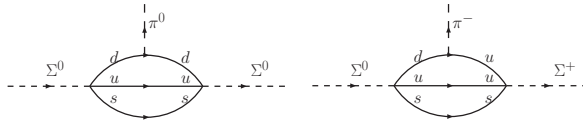
- Tanımlar: $\pi^0 = g_{\pi uu}\bar{u}u + g_{\pi dd}\bar{d}d + g_{\pi ss}\bar{s}s$
- $\Pi^{B_2 \rightarrow B_1 \mathcal{M}} = \langle \mathcal{M} | B_1 \bar{B}_2 | 0 \rangle$ olarak gösterelim
- O zaman:

$$\Pi^{\Sigma^0 \rightarrow \Sigma^0 \pi^0} = g_{\pi uu} \langle \bar{u}u | \Sigma^0 \bar{\Sigma}^0 | 0 \rangle + g_{\pi dd} \langle \bar{d}d | \Sigma^0 \bar{\Sigma}^0 | 0 \rangle + g_{\pi ss} \langle \bar{s}s | \Sigma^0 \bar{\Sigma}^0 | 0 \rangle$$

- $\Pi_1(u, d, s) = \langle \bar{u}u | \Sigma^0 \bar{\Sigma}^0 | 0 \rangle$, $\Pi_2(u, d, s) = \langle \bar{s}s | \Sigma^0 \bar{\Sigma}^0 | 0 \rangle$ olarak tanımlansın
- Π_1 , dikuarkla etkileşmeyi, Π_2 ise, tek kuarkla olan etkileşmeyi tanımlar.
- $\Sigma^0(u \leftrightarrow d) = \Sigma^0$ olduğundan dolayı
 $\langle \bar{d}d | \Sigma^0 \bar{\Sigma}^0 | 0 \rangle = \Pi_1(d, u, s)$

- Örnek: $\Pi^{\Sigma^+ \rightarrow \Sigma^+ \pi^0} = g_{\pi \bar{u}u} \langle \bar{u}u | \Sigma^+ \bar{\Sigma}^+ | 0 \rangle + g_{\pi \bar{s}s} \langle \bar{s}s | \Sigma^+ \bar{\Sigma}^+ | 0 \rangle$
- $\Sigma^0(d \rightarrow u) = -\sqrt{2} \Sigma^+$
- Dolayısı ile $\langle \bar{u}u | \Sigma^0 \bar{\Sigma}^0 | 0 \rangle (d \rightarrow u) = 2 \langle \bar{u}u | \Sigma^+ \bar{\Sigma}^+ | 0 \rangle'$
- $\langle \bar{u}u | \Sigma^+ \bar{\Sigma}^+ | 0 \rangle = 4 \langle \bar{u}u | \Sigma^+ \bar{\Sigma}^+ | 0 \rangle' =$
 $= 2 \langle \bar{u}u | \Sigma^0 \bar{\Sigma}^0 | 0 \rangle (d \rightarrow u) = 2 \Pi_1(u, u, s)$
- Sonuç olarak: $\Pi^{\Sigma^+ \rightarrow \Sigma^+ \pi^0} = \sqrt{2} \Pi_1(u, u, s)$

• Yüklü mezonlar: $\Pi^{\Sigma^0 \rightarrow \Sigma^+ \pi^-}$



- Doğal olarak $\langle \bar{d}d | \Sigma^0 \bar{\Sigma}^0 | 0 \rangle$ ile $\langle \bar{u}d | \Sigma^+ \bar{\Sigma}^0 | 0 \rangle$ birbirine orantılı olmasını bekleriz.
- Gerçekten de $\Pi^{\Sigma^0 \rightarrow \Sigma^+ \pi^-} = \langle \bar{u}d | \Sigma^+ \bar{\Sigma}^0 | 0 \rangle = -\sqrt{2} \langle \bar{d}d | \Sigma^0 \bar{\Sigma}^0 | 0 \rangle = -\sqrt{2} \Pi_1(d, u, s)$
- u ve d kuarkları yer değiştirerek, $\Pi^{\Sigma^0 \rightarrow \Sigma^- \pi^+} = \langle \bar{d}u | \Sigma^- \bar{\Sigma}^0 | 0 \rangle = \sqrt{2} \Pi_1(u, d, s)$ ifadesini de elde ederiz.

- Ya Λ içeren eşleşme sabitleri?
- $2\Sigma^0(d \leftrightarrow s) = -\sqrt{3}\Lambda - \Sigma^0$ ve $\Pi^{\Sigma^0 \rightarrow \Sigma^- \pi^+} = \sqrt{2}\Pi_1(u, d, s)$, eşitliklerini kullanarak $2\sqrt{2}\Pi_1(u, s, d) = \sqrt{3}\Pi^{\Lambda \rightarrow \Xi^- K^+} + \Pi^{\Sigma^0 \rightarrow \Xi^- K^+}$ olduğunu görürüz.
- İki yeni fonksiyona ihtiyaç duyulur:
 $\Pi_3(u, d, s) = -\Pi^{\Sigma^0 \rightarrow \Xi^- K^+} = -\langle \bar{s}u | \Xi^- \bar{\Sigma}^0 | 0 \rangle$
 $\Pi_4(u, d, s) = -\Pi^{\Xi^- \rightarrow \Sigma^0 K^-} = -\langle \bar{u}s | \Sigma^0 \Xi^- | 0 \rangle$
- $\Pi_3(u, d, s) = \Pi_4(u, s, d)$
- $SU(3)$ limitinde $\Pi_1 \propto \sqrt{2}F$, $\Pi_2 \propto \sqrt{2}(F - D)$, and $\Pi_4 = \Pi_3 \propto -(F + D)$

Navigation icons: back, forward, search, and other controls.

TEŞEKKÜR EDERİM....