объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

Р2-86-421

А.А.Бельков*, В.Н.Первушин

КИРАЛЬНЫЕ p^4-ЛАГРАНЖИАНЫ И АМПЛИТУДА РАСПАДА $\eta' \to \eta 2\pi$

Направлено в журнал "Ядерная физика"

* Институт физики высоких энергий, Серпухов

1986

За последние два года произошло существенное продвижение в построении низкоэнергетического предела КХД. В рамках предположения спонтанного нарушения киральной симметрии из КХД удалось получить не только старый киральный лагранжиан [I-3], но и другие более высокие по степеням 4-импульсов члены кирального разложения. В частности, КХД однозначно фиксирует p^4-поправки к киральному лагранжиану. В рамках КХД получила также естественное решение U(I)-проблема с помощью феноменологического учета глюонных аномалий.

В результате был получен лагранжиан, описывающий мезонные процессы:

$$\mathcal{L}^{QCD} = \mathcal{L}_0 + \mathcal{L}_Q + \mathcal{L}_T + \mathcal{L}_{WZW} + \mathcal{L}_{SB} + \mathcal{L}_G . \qquad (I)$$

Здесь

$$\mathcal{L}_0 = -\frac{F_\pi^2}{4} Sp(L_\mu L^\mu) \qquad (2)$$

– кинетическая часть кирального лагранжиана, определяющая p^2-порядок разложения амплитуд мезонных процессов по импульсам взаимодействующих частиц; F_π = 94 МэВ – константа распада $\pi \to \mu\nu$; $L_\mu = (\partial_\mu U) U^+$; $U = \exp\left(i\frac{\sqrt{2}}{F_\pi}\Phi\right)$; $\Phi = \frac{1}{\sqrt{3}}\varphi_0 + \frac{1}{\sqrt{2}}\sum_{i=1}^{8}\lambda_i\varphi_i$ – мезонная матрица для нонета псевдоскалярных полей φ_i (i = 0,I,...,8).

Обсуждаемые в настоящей работе p^4-поправки описываются лагранжианами $\mathcal{L}_Q$ и $\mathcal{L}_T$ [4-6]:

$$\mathcal{L}_Q = \frac{1}{32e^2} Sp\left\{[L_\mu, L_\nu]^2\right\} + \frac{\gamma}{16e^2} Sp\left\{(L_\mu L^\mu)^2\right\}, \qquad (3)$$

$$\mathcal{L}_T = -\frac{1}{\Lambda_T^2} Sp\left\{(\partial_\mu L^\mu)^2\right\} \equiv \frac{1}{\Lambda_T^2} Sp\left\{\partial^2 U \partial^2 U^+ - (L_\mu L^\mu)^2\right\} . \qquad (4)$$

Первый член в $\mathcal{L}_Q$ отвечает скирмовскому лагранжиану [7], второй – нескирмовской добавке, вклады которых определяются безразмерными параметрами e^2 и γ . Наличие тахионного члена $\mathcal{L}_T$, приводящего к двум ветвям мезонного спектра масс, указывает на нестабильность кирального разложения. Роль $\mathcal{L}_T$ исследована в работе [8]. Его учет представляет особый интерес, поскольку $\mathcal{L}_T$, так же как и киральные аномалии $\mathcal{L}_{WZW}$ [9], приводит к эффектам, выходящим за рамки унитаризации исходного лагранжиана (2). Коэффициенты e^2, γ, Λ_T^2 в лагранжианах (2),(3) в низкоэнергетическом пределе КХД связаны с числом цветов кварков N_c соотношениями

$$e^2 = 12\pi^2/N_c, \quad \gamma = 1, \quad \Lambda_T^2 = 96\pi^2/N_c. \qquad (5)$$

Полный мезонный лагранжиан (I) содержит также член $\mathcal{L}_{SB}$, нарушающий киральную симметрию /I0/:

$$\mathcal{L}_{SB} = \frac{F_\pi^2}{4} Sp\left\{ M(U+U^+)\right\}. \qquad (6)$$

Здесь M – массовая матрица, которая выбирается в диагональной форме $M_{ij} = \mu_i^2\delta_{ij}$. Параметры μ_i^2 пропорциональны кварковым массам m_i: $\mu_i^2 = -2m_i F_\pi^{-2}\langle\bar\psi_i\psi_i\rangle$. Лагранжиан (6) с учетом аксиальной U(I)-аномалии

$$\mathcal{L}_G = \frac{aF_\pi^2}{16N_c}\left[Sp\left(\ln U - \ln U^+\right)\right]^2, \qquad (7)$$

возникающей в низшем порядке разложения по $1/N_c$ в КХД, позволяет корректно описать массы всех псевдоскалярных мезонов, включая и синглетное состояние η'. При этом параметр a глюонной аномалии (7) и угол φ ($\eta-\eta'$)-смешивания

$$\eta_8 = \cos\varphi\,\eta + \sin\varphi\,\eta', \quad \eta_0 = -\sin\varphi\,\eta + \cos\varphi\,\eta' \qquad (8)$$

фиксируются следующим образом /II/:

$$a = 0{,}729 \text{ ГэВ}^2, \quad \varphi = -18^\circ. \qquad (9)$$

Распады $\eta'\to\eta 2\pi$ описываются частью лагранжиана (I):

$$\mathcal{L}_{\eta'\to\eta2\pi} = \frac{m_\pi^2}{12F_\pi^2}\vec\pi^2\tilde\eta^2 + \frac{\gamma}{12F_\pi^4 e^2}\left((\partial_\mu\vec\pi\cdot\partial_\mu\vec\pi)\partial_\nu\tilde\eta\,\partial_\nu\tilde\eta + 2(\partial_\mu\vec\pi\,\partial_\nu\vec\pi)\partial_\mu\tilde\eta\,\partial_\nu\tilde\eta\right), \qquad (10)$$

где $\tilde\eta = \eta_8 + \sqrt2\,\eta_0$. Первое слагаемое в (I0) обусловлено нарушением киральной симметрии $\mathcal{L}_{SB}$, второе – нескирмовской частью p^4-лагранжиана $\mathcal{L}_Q$. Соответствующие амплитуды распадов $\eta'\to\eta2\pi^0$, $\eta'\to\eta\pi^+\pi^-$ имеют вид

$$T_{\eta'\to\eta2\pi^0} = T_{\eta'\to\eta\pi^+\pi^-} = \qquad (11)$$

$$= \frac{\sqrt2}{3F_\pi^2}\left(\cos2\varphi - \frac{\sin2\varphi}{2\sqrt2}\right)\Big\{ m_\pi^2 - \frac{\gamma}{4e^2F_\pi^2}\Big[2\Big(3s_0^2 - m_\pi^2(m_{\eta'}^2+m_\eta^2) -$$

$$-(m_\eta^2+m_\pi^2)(m_{\eta'}^2+m_\pi^2)\Big) - \frac12(s_1-s_2)^2 - \frac32(s_0-s_3)^2\Big]\Big\}.$$

Здесь $s_{1,2} = (p_{\eta'} - p_{\pi_{1,2}})^2$, $s_3 = (p_{\eta'}-p_\eta)^2$, $s_0 = \frac13\left(m_{\eta'}^2+m_\eta^2+2m_\pi^2\right)$.
Полная ширина распада $\eta'\to\eta2\pi$, вычисленная с амплитудой (II),

$$\Gamma_{\eta'\to\eta2\pi} = \Gamma_{\eta'\to\eta2\pi^0} + \Gamma_{\eta'\to\eta\pi^+\pi^-} = 220 \text{ кэВ} \qquad (12)$$

хорошо согласуется с экспериментальным значением

$$\Gamma_{\eta'\to\eta2\pi} = (189 \pm 32) \text{ кэВ}. \qquad (13)$$

Отметим, что ширина распада (I2) полностью определяется вкладом нескирмовского p^4-взаимодействия в лагранжиане $\mathcal{L}_Q$. С учетом только первого члена в (I0) получим величину $\Gamma_{\eta'\to\eta2\pi} \approx 4$ кэВ, которая оказывается в 50 раз меньше экспериментального значения (I3).

В эксперименте амплитуду распада $\eta'\to\eta2\pi$ обычно параметризуют следующим образом:

$$|T_{\eta'\to\eta2\pi}|^2 = A(1+\alpha Y)^2, \qquad (14)$$

где $Y = (2+m_\eta/m_\pi)\cdot T_\eta/Q + 1$; T_η – кинетическая энергия η-мезона; $Q = m_{\eta'} - m_\eta - 2m_\pi$; α –параметр наклона. Амплитуда (II) приводит к значению параметра наклона $\alpha = -2I$, которое согласуется по знаку с экспериментальной величиной /I2/ $\alpha = -(0{,}058 \pm 0{,}013)$, но в четыре раза превышает ее по абсолютному значению. При учете только первого члена в (I0) наклон в амплитуде (I4) полностью отсутствует. Описание наклона амплитуды распада $\eta'\to\eta2\pi$ можно существенно улучшить, учитывая более высокие по $1/N_c$ и μ_i^2/N_c члены разложения кирального лагранжиана.

Таким образом, экспериментальное исследование распада $\eta'\to\eta2\pi$ дает уникальную возможность определения параметров низкоэнергетического КХД-разложения. Авторы благодарят Ю.Д.Прокошкина, С.А.Садовского и Г.В.Хаустова, стимулировавших настоящую работу.

Литература

I. Weinberg S. Phys. Rev. Lett., 1966, 17, 616.
2. Волков Д.В. ЭЧАЯ, I973, 4, 3.
3. Волков М.К., Первушин В.Н. УФН, I976, I20, 363.
4. Andrianov A.A., Novozhilov Yu.V. Phys. Lett., 1985, B153, 422; Andrianov A.A. Phys. Lett., 1985, B157,425.
5. Simic P. Phys. Rev. Lett., 1985, 55, 40.
6. Ebert D., Reinhardt H. NBI-HE-85-34, 1985.

7. Skyrme T.H.R. Proc. Roy. Soc., 1961, 260,127; 262,237;
Skyrme T.H.R. Nucl. Phys., 1962,31, 550, 556.
8. Бельков А.А., Ланев А.В., Первушин В.Н. Сообщения ОИЯИ,Р2-86-205, Дубна, 1986.
9. Witten E. Nucl. Phys., 1983,B223, 422.
10. Di Veccia et al. Nucl. Phys., 1981, B181,318.
11. Волков М.К. ЭЧАЯ, 1982, 13, 1070.
12. Алди Д. и др. Препринт ИФВЭ 86-92, Серпухов, 1986.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 июня 1986 года.

Бельков А.А., Первушин В.Н. Р2-86-421

Киральные p^4-лагранжианы и амплитуда распада $\eta' \to \eta 2\pi$

В рамках кирального лагранжиана, полученного низкоэнергетическим разложением КХД, вычисляется амплитуда распада $\eta' \to \eta 2\pi$. Показано, что экспериментальное исследование этого распада дает уникальную возможность определения параметров КХД-разложения.

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Bel'kov A.A., Pervushin V.N. P2-86-421

Chiral p^4-Lagrangians and Amplitude of $\eta' \to \eta 2\pi$ Decay

The amplitude of $\eta' \to \eta 2\pi$ decay is calculated in the framework of the chiral Lagrangian obtained in low-energy QCD. It is shown that the experimental research of the decay gives a unique possibility to determine the low-energy QCD-expansion parameters.

The investigation has been performed at the Laboratory of Theoretical Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986