

СКАЛЯРНЫЙ МЕЗОН δ (980) В МОДЕЛИ КВАРКОВЫХ ПЕТЕЛЬ

М.К.Волков, А.Н.Иванов*, Н.И.Троицкая*

В предположении $q\bar{q}$ -структуры δ -мезона вычислены парциальные ширины распадов $\delta^0 \rightarrow \gamma\gamma$, $\delta \rightarrow \pi\eta$ и $\delta \rightarrow K\bar{K}$: $\Gamma(\delta^0 \rightarrow \gamma\gamma) = (0,93+0,03)$ кэВ, $\Gamma(\delta \rightarrow \pi\eta) = (55+1)$ МэВ и $\Gamma(\delta \rightarrow K\bar{K}) = (75+19)$ МэВ. Хорошее согласие ширины распада $\delta \rightarrow \pi\eta$ с экспериментальной $\Gamma(\delta \rightarrow \pi\eta) = (54+7)$ МэВ получено за счет учета нетривиального вклада эффективного взаимодействия, обусловленного глюонной аномалией. Теоретическая величина $\Gamma(\delta^0 \rightarrow \gamma\gamma) \text{B.R.}(\delta \rightarrow \pi\eta) = (0,39+0,06)$ кэВ согласуется с экспериментальной $\Gamma(\delta^0 \rightarrow \gamma\gamma) \text{B.R.}(\delta \rightarrow \pi\eta) = (0,19+0,07_{-0,07}^{+0,10})$ кэВ на двух стандартных отклонениях.

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ.

δ (980) Scalar Meson in the Quark Loop Model

М.К.Volkov, А.Н.Ivanov, N.I.Troitskaya

The quark structure of the δ (980) meson is discussed. Partial decay $\delta^0 \rightarrow \gamma\gamma$, $\delta \rightarrow \pi\eta$ and $\delta \rightarrow K\bar{K}$ widths are calculated in the suggestion δ -meson $q\bar{q}$ -structure in the quark loop model. $\Gamma(\delta^0 \rightarrow \gamma\gamma) = (0.93+0.03)$ keV, $\Gamma(\delta \rightarrow \pi\eta) = (55+1)$ MeV and $\Gamma(\delta \rightarrow K\bar{K}) = (75+19)$ MeV. A good agreement of the partial decay $\delta \rightarrow \pi\eta$ width with experimental data $\Gamma(\delta \rightarrow \pi\eta) = (54+7)$ MeV obtained for the nontrivial contribution of the effective Lagrangian interaction is due to gluon anomaly. Theoretical value $\Gamma(\delta^0 \rightarrow \gamma\gamma) \text{B.R.}(\delta \rightarrow \pi\eta) = (0.39+0.06)$ keV agrees with experimental value

$\Gamma(\delta^0 \rightarrow \gamma\gamma) \text{B.R.}(\delta \rightarrow \pi\eta) = (0.19+0.07_{-0.07}^{+0.10})$ keV within two standard deviations.

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

Какую кварковую структуру имеет скалярный мезон δ (980)? Является ли мезон δ (980) состоянием с $q\bar{q}$ -структурой или это четырехкварковая молекула $qq\bar{q}\bar{q}$? Последние экспериментальные данные по измерению парциальной ширины $\Gamma(\delta^0 \rightarrow \gamma\gamma)$ распада $\delta^0 \rightarrow \gamma\gamma$ /1/:

$$\Gamma(\delta^0 \rightarrow \gamma\gamma) \text{B.R.}(\delta \rightarrow \pi\eta) = (0,19+0,07_{-0,07}^{+0,10}) \text{ кэВ,} \quad //1/$$

где $\text{B.R.}(\delta \rightarrow \pi\eta)$ — относительная вероятность распада $\delta \rightarrow \pi\eta$.

* Ленинградский политехнический институт

на первый взгляд свидетельствуют в пользу $q\bar{q}\bar{q}$ -структуры δ -мезона^{/2/}. Однако возможность $q\bar{q}$ -структуры полностью не исключена^{/3/}.

В предлагаемой работе мы анализируем экспериментальные данные^{/1/} в предположении $q\bar{q}$ -структуры мезона δ (980) в модели кварковых петель /МКП/^{/4/}. В МКП эффективный лагранжиан взаимодействия δ -мезона с псевдоскалярными мезонами и фотонами имеет вид^{/4/}:

$$\mathcal{L}_{\text{эфф}} = 2m_s g(\vec{K} \vec{\tau} K) \cdot \vec{\delta} + (2m_u g/\sqrt{3}) [\cos \theta_P - \sqrt{2} (1-d/m_u^2 Z) \sin \theta_P] (\vec{\pi} \cdot \vec{\delta}) \eta - (\alpha/6\pi F_\pi Z^{1/2}) F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} \delta^0. \quad /2/$$

Здесь m_u и m_s - массы составляющих кварков / $m_u=280$ МэВ, $m_s=450$ МэВ^{/5/} /, $Z^{-1}=0,71$ - константа перенормировки волновых функций 0^- -мезонов, обусловленная прямыми переходами $0^- \rightarrow 1^+$ ^{/6/}; $g = m_u Z^{1/2}/F_\pi = 3,57$, где $F_\pi = 93$ МэВ - константа распада π -мезонов; θ_P - угол синглет-октетного смешивания 0^- -мезонов / $(\theta_P)_{\text{эксп}} = -17,6 \pm 3,6^\circ$ ^{/7/} /, $d = 8,4 \times 10^5$ /МэВ² - вклад глюонной аномалии /Волков М.К.^{/4/} /; $F_{\mu\nu}$ - тензор напряженности электромагнитного поля; $\alpha = 1/137$ - постоянная тонкой структуры.

Парциальные ширины распадов $\delta^0 \rightarrow \gamma\gamma$, $\delta \rightarrow \pi\eta$ и $\delta \rightarrow K\bar{K}$, вычисленные с помощью эффективного лагранжиана /2/, равны соответственно:

$$\Gamma(\delta^0 \rightarrow \gamma\gamma) = \frac{\alpha^2}{F_\pi^2 Z} \frac{W^3}{154\pi^3},$$

$$\Gamma(\delta \rightarrow \pi\eta) = \frac{\tilde{g}^2}{12\pi} \frac{m_u^2}{W} \left[1 - \frac{(m_\eta + m_\pi)^2}{W^2} \right]^{1/2} \left[1 - \frac{(m_\eta - m_\pi)^2}{W^2} \right]^{1/2}, \quad /3/$$

$$\Gamma(\delta \rightarrow K\bar{K}) = \frac{g^2}{2\pi} \frac{m_s^2}{W} \left(1 - \frac{4m_K^2}{W^2} \right)^{1/2},$$

где $\tilde{g} = g[\cos \theta_P - \sqrt{2} (1-d/m_u^2 Z) \sin \theta_P]$, а W - полная энергия виртуального δ -мезона. В работе^{/1/} δ -мезон изучали в реакции $e^+e^- \rightarrow e^+e^- \delta(980)$. Максимальное значение сечения $\sigma(e^+e^- \rightarrow e^+e^- \delta(980))$ соответствует $W = 1005 + 9$ МэВ, поэтому парциальные ширины /3/ вычислим при $W = 1005 + 9$ МэВ:

$$\Gamma(\delta^0 \rightarrow \gamma\gamma) = (0,93 \pm 0,03) \text{ кэВ},$$

$$\Gamma(\delta \rightarrow \pi\eta) = (55 \pm 1) \text{ МэВ},$$

$$\Gamma(\delta \rightarrow K\bar{K}) = (75 \pm 19) \text{ МэВ}. \quad /4/$$

Парциальная ширина распада $\delta \rightarrow \pi\eta$, вычисленная при $\theta_P = -17^\circ$ хорошо согласуется с экспериментальной $\Gamma(\delta \rightarrow \pi\eta)_{\text{эксп}} = 57 \pm 7 \text{ МэВ}^{1/8}$. Используя /4/, найдем $\Gamma(\delta^0 \rightarrow \gamma\gamma) \text{В.Р.}(\delta \rightarrow \pi\eta)$:

$$\Gamma(\delta^0 \rightarrow \gamma\gamma) \text{В.Р.}(\delta \rightarrow \pi\eta) = \Gamma(\delta^0 \rightarrow \gamma\gamma) \frac{\Gamma(\delta \rightarrow \pi\eta)}{\Gamma(\delta \rightarrow \pi\eta) + \Gamma(\delta \rightarrow \text{KK})} = (0,39 \pm 0,06) \text{ кэВ.} \quad /5/$$

Результат /5/ согласуется с экспериментальными данными /1/ в пределах двух стандартных отклонений.

Таким образом, предположение о $q\bar{q}$ -структуре скалярного мезона δ (930) не противоречит в МКП экспериментальным данным /1/. Нельзя тем не менее отрицать возможную примесь $qq\bar{q}\bar{q}$ -компоненты, наличие которой может только улучшить имеющееся согласие.

Приложение

Эффективное взаимодействие, обусловленное вкладом глюонной аномалии, можно представить в виде /9/:

$$\mathcal{L}'_{\text{эфф}} = \gamma [\text{tr} \ln(M^+ / M)]^2$$

Здесь $M = \lambda^i M_i$, где λ^i - матрицы Гелл-Манна, $0 \leq i \leq 8$, $\lambda_0 = \sqrt{\frac{2}{3}} \mathbf{1}$.

γ - феноменологическая константа, а $M = \Sigma + iP$ /в случае линейной реализации киральной симметрии/, где Σ и P - нонеты 0^+ - и 0^- -мезонов. Среднее по вакууму скалярного поля отлично от нуля: $\Sigma = \Sigma' + \langle \Sigma \rangle$, где $\langle \Sigma \rangle = -F_\pi Z^{1/2} \mathbf{1}$. Раскладывая $\mathcal{L}'_{\text{эфф}}$ по обратным степеням $\langle \Sigma \rangle$, получим

$$\mathcal{L}'_{\text{эфф}} = - \frac{4\gamma}{F_\pi^2 Z} (\text{tr} P)^2 - \frac{8\gamma}{F_\pi^3 Z^{3/2}} (\text{tr} P) \text{tr}(\Sigma P) - \dots =$$

$$= - \frac{24\gamma}{F_\pi^2 Z} \eta_1^2 - \frac{16\sqrt{6}}{F_\pi^3 Z^{3/2}} \eta_1 (\pi \cdot \delta) - \dots =$$

$$= -d \eta_1^2 - \sqrt{2/3} (2d / F_\pi Z^{1/2}) \eta_1 (\pi \cdot \delta) - \dots$$

где $\gamma = (1/24) F_\pi^2 Z d$ и $\eta_1 = \eta' \cos \theta_P - \eta \sin \theta_P$.

Литература

1. Ansteyan D. et al. Crystal Ball Collaboration. DESY 85-097, SLAC-PUB-3761, August, 1985.
2. Achasov N.N., Devyanin S.A., Shestakov G.N. Z.Phys., 1982, C16, p.55.
3. Шабалин Е.П. Письма в ЖЭТФ, 1985, 42, с.111.
4. Иванов А.Н. ЯФ, 1981, 33, с.1979;
Иванов А.Н., Троицкая Н.И. ЯФ, 1982, 6, с.220;
Волков М.К., Эберт Д., ЯФ, 1982, 36, с.1265;
Ebert D., Z.Phys., 1983, C16, p.205;
Volkov M.K. Ann.Phys., 1984, 157, p.282.
5. Волков М.К., Иванов А.Н. ОИЯИ, P2-85-762, Дубна, 1985.
6. Волков М.К., Осипов А.А. ОИЯИ, P2-85-390, Дубна, 1985;
Волков М.К., Иванов А.Н. ОИЯИ, P2-85-566, Дубна, 1985.
7. Weinstein A. et al. Phys.Rev., 1983, D28, p.2896.
8. Particle Data Group. Rev.Mod.Phys., 1984, 56, No.2, part II.
9. Rosenzweig C., Schechter J., Trahern G., Phys.Rev., 1980, D21, p.3328; Di Vechia P. et al. Nucl.Phys., 1981, B181, p.318.

Рукопись поступила 24 января 1986 года.