

Ш-514  
ОБЪЕДИНЁННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория высоких энергий

Г.Н.Шестаков

АНОМАЛЬНЫЕ ЭФФЕКТЫ  $\rho$ - $\omega$  ИНТЕРФЕРЕНЦИИ  
В РЕАКЦИЯХ РОЖДЕНИЯ ВЕКТОРНЫХ МЕЗОНОВ

Специальность 01. 04. 02 -  
теоретическая и математическая физика

Автореферат диссертации,  
представленной на соискание  
учёной степени кандидата  
физико-математических наук

Д у б н а 1974 г.

Работа выполнена в Институте математики Сибирского отделения Академии наук СССР.

Научный руководитель - кандидат физико-математических наук АЧАСОВ Николай Николаевич.

Официальные оппоненты

Доктор физико-математических наук Хачатурян Марлен Нурибеович.

Кандидат физико-математических наук Тюрин Николай Евгеньевич.

Ведущее предприятие - Лаборатория теоретической физики Объединённого Института Ядерных Исследований, г. Дубна.

Автореферат разослан "18" суб 1974 г.

Защита диссертации состоится "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 197 г. на заседании Совета Лаборатории высоких энергий Объединённого Института Ядерных Исследований.

Адрес: г. Дубна московской области, Объединённый Институт Ядерных Исследований, Лаборатория высоких энергий, конференцзал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Объединённого Института Ядерных Исследований.

Учёный секретарь Совета

к.ф.-м.н. Лихачёв М.Ф.

ОБЪЕДИНЁННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
Лаборатория высоких энергий

Г.Н.Местаков

АНОМАЛЬНЫЕ ЭФФЕКТЫ  $\rho$ - $\omega$  ИНТЕРФЕРЕНЦИИ  
В РЕАКЦИЯХ РОЖДЕНИЯ ВЕКТОРНЫХ МЕЗОНОВ

Специальность 01. 04. 02 -  
теоретическая и математическая физика

Автореферат диссертации,  
представленной на соискание  
учёной степени кандидата  
физико-математических наук

Объединённый институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

Д у б н а 1974 г.

В течение последних пяти лет на ускорителях средних энергий было проведено около тридцати экспериментов, в которых изучались интересные и тонкие явления  $\rho^0-\omega$  интерференции в  $\pi^+\pi^-$  спектрах масс [1-7], обусловленные электромагнитным  $\rho^0-\omega$  смешиванием [8-13]. Значительный прогресс достигнут в определении параметров (величины и фазы) амплитуды распада  $\omega \rightarrow \pi^+\pi^-$ . Кроме того, явление  $\rho^0-\omega$  интерференции фактически стало дополнительным полезным инструментом исследования механизмов реакций рождения  $\rho^0$  и  $\omega$ -мезонов, позволяющим получать новую физическую информацию об относительных величинах и фазах амплитуд этих реакций. Поэтому с улучшением экспериментальных возможностей (увеличение статистики на ускорителях средних энергий) изучение эффектов  $\rho^0-\omega$  интерференции по-видимому будет представлять ещё больший интерес, о чём свидетельствует появление новых всё более подробных данных (см., например, [14-18]).

До сих пор основные исследования  $\rho^0-\omega$  интерференции в  $\pi^+\pi^-$  спектрах масс были сконцентрированы на следующих шести реакциях [1-7, 14-18]

$$a) e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$$

$$b) \pi^\pm N \rightarrow \pi^+\pi^- N$$

$$b) \pi^\pm N \rightarrow \pi^+\pi^- \Delta$$

$$2) \gamma A \rightarrow \pi^+\pi^- A \quad (A = N, C, Al, Pb)$$

$$d) K^- p \rightarrow \pi^+\pi^- \Lambda$$

$$e) N \bar{N} \rightarrow (3\pi), (4\pi), (5\pi), (6\pi)$$

Два интерферирующих вклада в  $\pi^+\pi^-$  спектр масс наглядно изображены на рис.1.  $A_\rho$ ,  $A_\omega$  - амплитуды  $\rho$  и  $\omega$ -рождения,  $\delta$  - амплитуда электромагнитного  $\rho^0 \leftrightarrow \omega$  перехода.

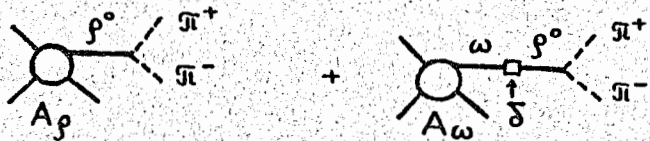


Рис. 1. Два вклада в  $\pi^+ \pi^-$  спектр масс в области  $\rho^0$ ,  $\omega$  - резонансов. Распад  $\omega \rightarrow \pi^+ \pi^-$  обусловлен электромагнитным  $\rho^0 - \omega$  смешиванием [8,10,11].

По теоретическим оценкам  $2\delta \approx \alpha m_\rho$ , т.е. порядка электромагнитной разности масс частиц в октете векторных мезонов и является почти точно действительной величиной [8-13]. Кроме того, электромагнитное  $\rho^0 - \omega$  смешивание из-за близости масс  $\rho^0$  и  $\omega$  - резонансов должно приводить к тому, что вероятность распада  $\omega \rightarrow \pi^+ \pi^-$  будет подавлена по сравнению с вероятностью распада  $\rho^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$  не в  $\alpha^2$  раз, а гораздо меньше [8-13].

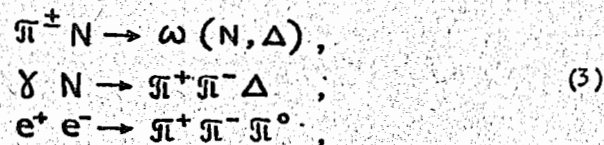
$$\Gamma_{\omega 2\pi} \approx \alpha^2 \Gamma_{\rho 2\pi} \times \left( \frac{m_\rho}{\Gamma_{\rho 2\pi}} \right)^2 \approx 30 \alpha^2 \Gamma_{\rho 2\pi} \quad (2)$$

( $\Gamma$  - ширина распада,  $m_\rho$  - масса  $\rho$ -мезона;  $\alpha = e^2/4\pi = 1/137$ ). Эти теоретические предсказания о параметрах смешивания находятся в хорошем согласии с существующими экспериментальными данными, полученными из опытов по наблюдению  $\rho^0 - \omega$  интерференции в  $\pi^+ \pi^-$  спектрах масс в указанных выше реакциях [1-7, 14].

Во всех исследованных до сих пор реакциях обнаруженные интерференционные явления оказались относительно небольшими (исключения чисто  $\rho^0$ -мезонного спектра масс ( $\pi^+ \pi^-$ ) за счёт  $\rho^0 - \omega$  интерференции невелики). Большой интерес могут представлять реакции, в которых по тем или иным динамическим при-

чинам должно происходить существенное усиление  $\rho^0 - \omega$  интерференции. В настоящей работе анализируются эффекты, обусловленные электромагнитным  $\rho^0 - \omega$  смешиванием в ряде таких реакций.

Диссертация состоит из четырёх глав. В первой главе дан краткий обзор теоретических и экспериментальных сведений о электромагнитном  $\rho^0 - \omega$  смешивании и  $\rho^0 - \omega$  интерференции в  $\pi^+ \pi^-$ -спектрах масс. В следующих главах рассмотрены три новых реакции [19-22, 26].



в которых, по нашему мнению, было бы интересно провести экспериментальные исследования явлений, связанных с  $\rho^0 - \omega$  интерференцией. Такие исследования, по-видимому, возможны уже в настоящее время или в самом ближайшем будущем. Хотелось бы ещё раз обратить на это внимание экспериментаторов, поскольку эффекты, обусловленные электромагнитным  $\rho^0 - \omega$  смешиванием, здесь следует ожидать довольно большими и существенно отличными от уже известных эффектов в реакциях (а) - (е).

Рассмотренные во второй главе реакции  $\pi^\pm N \rightarrow \omega \Delta$  и  $\pi^\pm N \rightarrow \omega N$  качественно отличаются от всех других реакций тем, что э.м.  $\rho^0 - \omega$  смешивание приводит к интерференционным эффектам, которые должны проявляться в данном случае не в спектре масс распадных пионов, а непосредственно в дифференциальных сечениях и элементах спиновой матрицы плотности  $\omega$ -мезона ( $\rho_{ij}^\omega$ ) [19-21]. Указывается на возможность "сильного" нарушения изотопической инвариантности в этих реакциях (за счёт э.м.  $\rho^0 - \omega$  смешивания), если предположить, что

$\rho^0$ - $\omega$  интерференция в реакциях  $\pi^\pm N \rightarrow \pi^\pm \pi^\mp(N, \Delta)$  происходит главным образом между амплитудами с квантовыми числами  $\pi$  и  $B$ -мезонов в  $t$ -канале [19-21]. А именно, при средних энергиях (2 - 10 ГэВ) в области сравнительно небольших переданных 4-импульсов  $0 \leq |t'| \leq 0.2$  ( $|t'| = |t| - |t|_{\min}$ ,  $|t'|$  выражен в единицах  $(\text{ГэВ}/c)^2$ ) сечения рождения  $\omega$ -мезона с продольной поляризацией  $\rho_{00}^\omega d\sigma^\omega/d|t'|$  для реакций  $\pi^- N \rightarrow \omega(N, \Delta)$  следует ожидать в 1.5 - 3 раза меньше, чем для реакций  $\pi^+ N \rightarrow \omega(N, \Delta)$ , вопреки изотопическим равенствам. Кроме того, сечения  $\rho_{00}^\omega d\sigma^\omega/d|t'|(\pi^+ N \rightarrow \omega(N, \Delta))$  и  $\rho_{00}^\omega d\sigma^\omega/d|t'|(\pi^- N \rightarrow \omega(N, \Delta))$  должны иметь резко различное поведение по  $|t'|$  при  $|t'| \rightarrow 0$ , что особенно чётко может проявиться в реакциях  $\pi^\pm N \rightarrow \omega \Delta$ . Если в интересующих нас зарядосимметричных реакциях экспериментально не известна нормировка сечений, то независимо от этой неопределённости эффект нарушения изотопической инвариантности можно обнаружить по элементам спиновой матрицы плотности  $\omega$ -мезона, для которых предсказывается, например, что

$$\rho_{00}^\omega(\pi^+ N \rightarrow \omega(N, \Delta)) > \rho_{00}^\omega(\pi^- N \rightarrow \omega(N, \Delta)) \quad (4)$$

за счёт электромагнитного  $\rho^0$ - $\omega$  смешивания при  $|t'| < 0.2$ . Данные по реакциям  $\pi^+ N \rightarrow \omega(N, \Delta)$  довольно многочисленны, однако для реакций  $\pi^- N \rightarrow \omega(N, \Delta)$  они пока гораздо беднее, чтобы осуществить прямую проверку описанной картины. Однако некоторые отдельные указания в её пользу уже имеются, см., например, [23-25].

В этой же главе рассмотрены кратко некоторые простые модели механизмов  $\rho^0$  и  $\omega$ -рождения, помогающие дать приемлемую интерпретацию интерференционным явлениям в  $\pi^+ \pi^-$  спектрах масс. Указаны также возможные способы проверки предска-

ний о нарушении зарядовой симметрии в реакциях  $\pi^\pm N \rightarrow \omega(N, \Delta)$

В реакциях  $\gamma N \rightarrow \pi^+ \pi^- \Delta$  и  $e^+ e^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \rho^0$ , как и в реакциях ( $\alpha$ ) - ( $e$ ), интерференционные явления (обусловленные э.м.  $\rho^0$ - $\omega$  смешиванием) должны проявляться в спектрах масс  $\pi^+ \pi^-$  мезонов.

В третьей главе показано, что в реакциях  $\gamma N \rightarrow \pi^+ \pi^- \Delta$  экспериментальные исследования которых ведутся в настоящее время, следует ожидать гораздо более сильного эффекта  $\rho^0$ - $\omega$  интерференции по сравнению с хорошо изученными реакциями  $\gamma A \rightarrow \pi^+ \pi^- A$  [22]. Хотя механизм реакций  $\gamma N \rightarrow \omega \Delta$  и  $\gamma N \rightarrow \rho^0 \Delta$  может быть довольно сложным, легко показать, что при больших энергиях он одинаков для обоих процессов. Поэтому в данном случае важные для построения спектра масс  $\pi^+ \pi^-$  мезонов параметры: фактор когерентности и полная относительная фаза вкладов  $\rho^0$  и  $\omega$ -мезонов, имеют очень простой вид. Возникающее значительное усиление вклада  $\omega$ -мезона в  $\pi^+ \pi^-$  спектр масс связано с тем, что амплитуды реакции  $\gamma N \rightarrow \omega \Delta$  примерно в три раза больше соответствующих амплитуд реакции  $\gamma N \rightarrow \rho^0 \Delta$ . Такое соотношение между амплитудами этих процессов вытекает при некоторых естественных предположениях из  $SU(3)$  симметрии. Отмечается, что в реакции  $\gamma N \rightarrow \pi^+ \pi^- \Delta$  возможно определение верхней границы величины  $\Gamma_{\omega 2\pi}$ . Кроме того, исследования эффекта  $\rho^0$ - $\omega$  интерференции в этой реакции наряду с измерениями полных сечений  $\sigma(\gamma N \rightarrow \rho^0 \Delta)$  и  $\sigma(\gamma N \rightarrow \omega \Delta)$  позволят наиболее полно проверить предсказания  $SU(3)$  симметрии для механизмов  $\rho^0 \Delta$  и  $\omega \Delta$  фоторождения. Кратко рассмотрена важная для данных реакций проблема отделения фона.

Четвёртая глава. В связи с интенсивным развитием экспериментов по изучению конкретных каналов однофотонной аннигиля-

чим  $e^+e^-$  в адроны вне области  $\rho^0$ ,  $\omega$  и  $\psi$  - резонансов обращается внимание на реакцию  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  [26]. Приводятся соображения о том, что при энергиях  $2E > 1 \text{ ГэВ}$ . ( $E$  - энергия одного пучка в с.ц.м.  $e^+e^-$ ) в спектре масс  $\pi^+\pi^-$  мезонов весьма вероятно возникновение резкого  $\omega$  - мезонного пика, который может в несколько раз превышать "основные" в области  $k_0^2 \approx m_\rho^2$  ( $\sqrt{k_0^2}$  - инвариантная масса  $\pi^+\pi^-$ -системы)  $\rho$  - мезонные вклады, соответствующие процессам

$$e^+e^- \rightarrow \left. \begin{array}{l} \rho^0 \pi^0 \\ \rho^+ \pi^- \\ \rho^- \pi^+ \end{array} \right\} \rightarrow (\pi^+\pi^-) \pi^0 \quad (5)$$

Важный вклад в  $\pi^+\pi^-$  спектр масс в реакции  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  обусловленный электромагнитным  $\rho^0$ - $\omega$  смешиванием изображен на рис. 2.

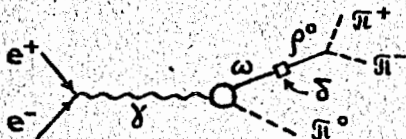


Рис. 2. Рождение  $\omega$ -мезона в реакции  $e^+e^- \rightarrow \omega \pi^0 \rightarrow 3\pi$ .

Нужно заметить, что процессы  $e^+e^- \rightarrow \rho \pi \rightarrow 3\pi$  и  $e^+e^- \rightarrow \omega \pi^0 \rightarrow 3\pi$  практически некогерентны при  $k_0^2 \approx m_\rho^2$ .

В рамках модели векторной доминантности для механизма реакции  $e^+e^- \rightarrow 3\pi$  с учётом предсказаний нарушенной  $SU(3)$  симметрии приводятся конкретные оценки указанного эффекта в области энергий встречных пучков  $1(\text{ГэВ})^2 \leq 4E^2 \leq 2(\text{ГэВ})^2$ . Если сравнить его с эффектом  $\rho^0$ - $\omega$  интерференции, наблюдаемой в реакции  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$  [7], то оказывается, что

интерференция амплитуд реакций  $e^+e^- \rightarrow \rho^0 \pi^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  и  $e^+e^- \rightarrow \omega \pi^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  в спектре масс  $\pi^+\pi^-$  мезонов усилена приблизительно в 9 раз по сравнению с аналогичным вкладом в  $\pi^+\pi^-$  спектр масс реакции  $e^+e^- \rightarrow (\rho^0, \omega) \rightarrow \pi^+\pi^-$  а квадратичный по  $\delta$  вклад усилен соответственно в 81 раз.

Поскольку в одном и том же эксперименте можно одновременно измерять  $\pi^+\pi^-$  и  $\pi^+\pi^0$  спектры масс, то реакцию  $e^+e^- \rightarrow \omega \pi^0 \rightarrow 3\pi$  в принципе можно выделить экспериментально практически модельно независимым образом. На наш взгляд, важно ещё следующее, что большой эффект  $\rho$ - $\omega$  интерференции в  $\pi^+\pi^-$  спектре масс в данном случае может служить индикатором выполнения предсказаний нарушенной  $SU(3)$  симметрии для вкладов многочастичных состояний в адронный электромагнитный ток в процессах  $e^+e^- \rightarrow V \pi$  ( $V$  - векторный мезон). Интересно исследовать поведение эффекта с изменением энергии. Это даст информацию, например, о зависимости от  $E$  относительной фазы амплитуд  $\rho \pi$  и  $\omega \pi^0$  рождения.

В конце этой главы обращается внимание на то, что в реакции  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  существует дополнительная возможность выяснить (по расположению минимума в её сечении относительно  $\psi$ -резонанса), какая модель смешивания (масс или токов) "работает" для  $\omega$  и  $\psi$ -мезонов [26]. Это показано в рамках модели векторной доминантности для случая, когда константа связи  $g_{\psi\rho\pi}$  в основном обусловлена отклонениями угла  $\psi$ - $\omega$  смешивания от своего "идеального значения", даваемого  $SU(6)$ -симметрией. Указанием на справедливость модели смешивания токов будет расположение минимума до  $\psi$ -резонанса. Если минимум обнаружится после  $\psi$ -резонанса, то это будет свидетельствовать в пользу модели смешивания масс. Однако, мы отмечаем, что при некоторой ситуации такой тест для моделей

ослабления  $\omega$  и  $\psi$  - мезонов может не работать. Интересно, что минимум в сечении реакции  $e^+e^- \rightarrow 3\pi$  следует ожидать довольно близко (в 30-40 МэВ) от  $\psi$ -резонанса.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах [19-22,26] и докладывались на 15-ой Международной конференции в Киеве, на сессиях Отделения ядерной физики Академии Наук и на семинарах ЛВЭ ОИИИ и ИЯФ СО АН.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. G.Goldhaber, Talk presented at the 1970 Conf. on Meson Spectroscopy, Philadelphia, May 1-2, 1970; preprint UCRL-19850.
2. G.Goldhaber, Lecture Series presented at Intern.School for Subnuclear Physics, Erise, Trapani, Sicily (July 1971); preprint LBL-534.
3. M.Ross, Talk given at the Daresbury Study Weekend, June 1970, on Vector Meson Production and Omega-Rho Interference; (CERN preprint DD/DH/70/71).
4. M.Gourdin, Proceedings of the Daresbury Study Weekend (1970) and Proceedings of the Eleventh Session of the Scottish Universities Summer School in Physics, 1970, on Hadronic Int. of El. and Ph.(A.P.London and New York), p. 395.
5. R.Marshall, Talk presented at the Intern.Conf.on Meson Resonance and Related Electromagnetic Phenomena, Bologna, 14-16 April 1971; preprint DNFL/P-73.
6. F.M.Renard, Lectures given at the Intern.Summer Inst. in Theor.Phys. "Photon-Hadron Interactions" DESY(Hamburg), July 1971; (Motpellier-France, preprint FM/71/5).
7. J.Lefrancois, Report presented at the 1971 Intern.Symp. on El. and Ph.Int. at H.E., Ithaca, New York, Aug.23-27, 1971; preprint LAL-1256.
8. S.L.Glashow, Phys.Rev.Letters 2 (1961) 469.
9. J.Bernstein, G.Feinberg, Nuovo Cimento 25(1962) 1343.
10. A.S.Goldhaber, G.C.Fox, C.Quigg, Phys.Letters 30B (1969) 249.

11. M.Gourdin, L.Stodolsky, F.M.Renard, Phys.Letters 30B(1969)347.
12. F.M.Renard, Nucl.Phys. B15 (1970)118.
13. G.R.Allcock, Nucl.Phys. B21 (1970) 265.
14. D.Benaksas et al., Phys.Letters 39B (1972) 289.
15. B.N.Ratcliff et al., Phys.Letters 38B (1972) 345.
16. R.R.Burns et al., Phys.Rev. D7 (1973) 1310.
17. S.D.Protopopescu et al., Phys.Rev. D7 (1973) 1279.
18. D.Ayres et al., Contributions to the Intern.Conf. on **ЖИ** Scattering and Associated Topics, the Florida State University, 1973; Preprints ANL/HEP 7318,7320 (1973).
19. N.N.Achasov, G.N.Shestakov, Contribution to the 15th Intern.Conf. on High Energy Physics, Kiev, 1970 (Abstracts of Contributions, vol.2,p.459) and preprint TP-57 IM SO AN (1970).
20. Н.Н.Ачасов, Г.Н.Шестаков, Письма в ЖЭТФ I2 (1970) 323.
21. N.N.Achasov, G.N.Shestakov, Nucl.Phys., B45 (1972) 93.
22. Н.Н.Ачасов, Г.Н.Шестаков, Письма в ЖЭТФ I5 (1972) 427.
23. C.Michael, Review talk presented at the 16th Intern.Conf. on High Energy Physics, University of Chicago and N.A.L., 1972 (CERN preprint TH-1567).
24. K.Paller et al., Lettere al Nuovo Cimento 4 (1972) 745.
25. R.D.Field, D.P.Sidhu, Charge-Exchange Vector-Meson Production, preprint Brookhaven National Lab.-18181, (1973).
26. Н.Н.Ачасов, А.А.Кожеников, Г.Н.Шестаков, препринт ИМ СО АН ТФ-80 (1973).