

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

К - 172

2 - 13048

КАЛИНОВСКИЙ  
Юрий Леонидович

НЕЛЕПТОННЫЕ РАСПАДЫ МЕЗОНОВ  
И КИРАЛЬНЫЕ ЛАГРАНЖИАНЫ

Специальность 01.04.02 - теоретическая  
и математическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Дубна 1980

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

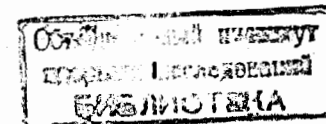
Проблема нелептонных распадов адронов является одной из самых загадочных в теории элементарных частиц. Существующие модели слабых взаимодействий, описывающие лептонные и полулептонные распады, испытывают большие трудности в объяснении правил отбора и амплитуд вероятностей нелептонных распадов. Между тем решение вопроса о теоретическом самосогласованном описании всех адронных распадов тесно связано с выбором реалистической модели единой теории поля и с установлением лептон-адронной симметрии.

Изучение нелептонных распадов адронов существенно упрощается в методе киральных феноменологических лагранжианов<sup>/1/</sup>. В силу самосогласованности киральной теории высшие поправки за счет сильных взаимодействий не приводят к "динамическому" усилению и поэтому моделирование с помощью киральных лагранжианов правил отбора для нелептонных распадов мезонов на уровне приближения деревьев имеет важное значение. Исходя из строгого выполнения правил отбора  $|\Delta T| = 1/2$  для К-распадов (лагранжиан в форме "ток x ток" преобразуется по октетному представлению  $SU(3)^{2/1}$ ) и  $|\Delta T| = 1$  для распадов очарованных мезонов, изучаем механизм нарушения этих правил.

Основной задачей здесь является единое самосогласованное описание всей имеющейся экспериментальной информации (без каких-либо дополнительных феноменологических параметров (кроме тех, которые определяются из лептонных распадов). Окончательные выводы, полученные таким путем, могут быть использованы в качестве рекомендаций для построения кварковых моделей и единых теорий.

Цель работы. Настоящая диссертация посвящена описанию нелептонных распадов странных и очарованных мезонов методом феноменологических лагранжианов.

Научная новизна. В диссертации впервые методом феноменологических лагранжианов последовательно описана вся совокупность экспериментальных данных по нелептонным распадам мезонов. Предложен новый механизм нарушения  $|\Delta T| = 1/2$ . Предложен лагранжиан слабого взаимодействия в форме "ток x ток", строго описывающий правило  $|\Delta T| = 1$ . Получены новые теоретические результаты по нелеп-



Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель -  
доктор физико-математических наук  
старший научный сотрудник

В.Н.Первушин

Официальные оппоненты:  
доктор физико-математических наук  
старший научный сотрудник  
кандидат физико-математических наук  
младший научный сотрудник

С.А.Бунятов

Ю.Н.Кафиев

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Институт физики высоких энергий, г. Серпухов.

Автореферат разослан " " \_\_\_\_\_ 1979 г.

Защита диссертации состоится " " \_\_\_\_\_ 19 г. на заседании специализированного Ученого совета КО47.ОИ.ОИ Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

В.И.Хуравлев

тонным распадам  $\eta_c$ -мезона, идущим за счет изоспинового нарушения.

Практическая ценность. Результаты вычисления амплитуд распадов находятся в согласии с экспериментальными данными и подтверждаются последними экспериментами. Теоретические выводы, сделанные в результате нашего анализа, могут стать критериями для выбора кварк-лептонной симметрии и модели единой теории поля. Результаты отражены в монографии<sup>/1/</sup>.

Апробация работы. Результаты диссертации докладывались на сессии ОЯФ АН СССР (1978 г.), на семинарах ЛТФ, ЛВЭ ОИЯИ и ИФВЭ (г. Серпухов).

Публикации. По результатам диссертации опубликовано пять статей.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, двух приложений и заключения, содержит 76 страниц машинописного текста. Библиографический список состоит из 76 названий.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении кратко изложен метод феноменологических лагранжианов, дана общая постановка задачи, сформулированы исходные гипотезы и предположения.

Первая глава посвящена описанию нелептонных распадов К-мезонов в киральной теории.

В § 1 анализируются различные подходы к описанию нелептонных распадов К-мезонов и объяснению эмпирического правила  $|\Delta T| = 1/2$ . Формулируется модель, в которой лагранжиан слабого взаимодействия строго удовлетворяет правилу  $|\Delta T| = 1/2$ , и нейтральные адронные токи с изменением странности, введенные в  $\mathcal{L}_w$ , не смешиваются с лептонными (при  $\theta_c = 0$ )<sup>/3/</sup>.

В § 2 кратко обсуждаются нелинейные реализации  $SU(3) \times SU(3)$ -симметрии, выписаны кирально-инвариантные лагранжианы сильного взаимодействия мезонов, токи, входящие в лагранжиан слабого взаимодействия, модель нарушения симметрии  $G_{MOR}$ <sup>/4/</sup>.

В § 3 вычисляются вероятности нелептонных мод распадов К-мезонов. Предложен новый механизм нарушения правила  $|\Delta T| = 1/2$ .

Распад  $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$  ( $|\Delta T| = 3/2$ ) описывается лагранжианом слабого взаимодействия, в котором заряженные токи повернуты на угол Кабиббо вокруг 7 оси пространства  $SU(3)$ <sup>/5/</sup>. Вычислены параметры наклонов в распадах  $K \rightarrow 3\pi$  и степень нарушения правила  $|\Delta T| = 1/2$ . Все полученные результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными (см. таблицу I).

Во второй главе рассматривается петлевое приближение к распадам  $K \rightarrow 2\pi$  и разности масс нейтральных мезонов  $K_L - K_S$ .

В § 4 обсуждается вклад барионных петель в распады  $K \rightarrow 2\pi$ . Лагранжиан сильного взаимодействия мезонов и барионов является  $SU(3) \times SU(3)$  кирально-инвариантным. Проведенные вычисления показывают, что для получения конечных результатов достаточно провести только перенормировку масс мезонов. Оставшиеся после этого расходимости сокращаются. Получено, что вклад барионных петель в амплитуду  $K \rightarrow 2\pi$  мал (примерно 13%) и не может привести к "динамическому" усилению за счет сильных взаимодействий.

В § 5 обсуждается вклад барионных петель в разность масс нейтральных К-мезонов. Разность масс нейтральных К-мезонов рассматривалась в<sup>/1,6/</sup> в предположении, что основной вклад дают диаграммы с испусканием разного числа пионов. Фактически в том же порядке разложения по  $(1/F_\pi)$  нужно рассматривать и вклад барионных петель, но здесь показано, что он мал. Для получения конечных результатов нужно воспользоваться законом сохранения векторного тока<sup>/7/</sup>, соотношением Голдбергера-Треймана и провести стандартную процедуру перенормировок<sup>/1/</sup>.

В третьей главе рассмотрены нелептонные и слабые нелептонные распады D, F- и  $\eta_c$ -мезонов и вычислены вероятности их распадов.

В § 6 обсуждается  $SU(4) \times SU(4)$  кирально-инвариантный лагранжиан. На справедливость киральной симметрии для изучаемых распадов указывает совпадение с 30% точностью констант слабого распада всех мезонов, в том числе и очарованных. Мы надеемся, что киральная симметрия в этом случае будет правильно воспроизводить как минимум соотношения между амплитудами с разным числом частиц. Фактически при расчетах используется  $SU(3) \times SU(3)$ , а  $SU(4) \times SU(4)$  используется как метод построения лагранжианов. Симметрия нарушается по простейшему представлению  $(4, 4^*) + (4^*, 4)$

этой группы. Аналогом такого нарушения является нарушение по схеме  $G-MOR$ <sup>4/</sup>. После введения массового члена в  $SU(3) \times SU(3)$  симметричный лагранжиан Оакс<sup>5/</sup> предложил дальнейшее нарушение симметрии проводить вращением мезонной матрицы вокруг 7 оси пространства  $SU(3)$  на угол Кабиббо. Возникающие при таком нарушении массовые соотношения хорошо согласуются с экспериментальными. Кроме этого, возникают лагранжианы, описывающие  $\eta \rightarrow 3\pi$  за счет изоспинового нарушения<sup>8/</sup>.

В § 7 рассмотрена современная ситуация в нелептонных распадах  $D, F$ -мезонов и правила отбора, справедливые в них. Исходя из  $|\Delta T| = 1$ , в предположении  $\theta_c = 0$  построен лагранжиан слабого взаимодействия в форме "ток x ток", преобразующийся по представлению  $20_S$  группы  $SU(4)$ . Вычислены вероятности слабых нелептонных распадов  $D, F$ - и  $\eta_c$ -мезонов, описываемых полученным лагранжианом. Все результаты согласуются с имеющимися экспериментальными данными.

В § 8 рассмотрен спектр шармония<sup>9/</sup>. В нем есть псевдоскалярный мезон, идентифицируемый с  $\eta_c$ . Для него вычислены вероятности нелептонных распадов за счет изоспинового нарушения (аналогом этого процесса является распад  $\eta \rightarrow 3\pi$ ).

В приложении I показано, что из лагранжиана в форме "ток x ток" можно получить бестоковый лагранжиан слабого взаимодействия. При расчетах с бестоковым лагранжианом вероятностей  $K \rightarrow 2\pi, 3\pi$  необходимо учитывать "тадпольные" графики.

В приложении 2 выписан явный вид мезонной матрицы  $M$  в группе  $SU(4)$ .

В заключении сформулированы результаты, полученные в диссертации.

#### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В ДИССЕРТАЦИИ

1. Последовательно описана вся совокупность экспериментальных данных по нелептонным распадам мезонов в рамках киральной  $SU(3) \times SU(3)$  теории без введения в лагранжиан слабого взаимодействия каких-либо дополнительных феноменологических параметров.

2. Предложен новый механизм нарушения правила  $|\Delta T| = 1/2$ .

3. Построен лагранжиан слабого взаимодействия для описания слабых нелептонных распадов очарованных мезонов с учетом  $|\Delta T| = 1$  и  $20_S$  - плетной доминантности.

4. Получены результаты по нелептонным распадам  $\eta_c$  за счет изоспинового нарушения.

Таблица I. Значения вероятностей распадов  $K \rightarrow 2\pi, 3\pi$ , вычисленные для  $E_c = 92$  МэВ,  $\sin \theta_c = 0,27$ .

Моды распадов	Теория	Эксперимент
$K_S \rightarrow \pi^0 \pi^0$	$(10^{10} \text{ с}^{-1})$ 0,342	$0,364 \pm 0,06$
$K_S \rightarrow \pi^+ \pi^-$	$(10^{10} \text{ с}^{-1})$ 0,684	$0,796 \pm 0,007$
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$	$(10^{10} \text{ с}^{-1})$ $0,81 \cdot 10^{-2}$	$(0,1691 \pm 0,0024) \cdot 10^{-2}$
$K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0$	$(10^6 \text{ с}^{-1})$ 3,84	$4,14 \pm 0,13$
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$	$(10^6 \text{ с}^{-1})$ 4,82	$4,51 \pm 0,02$
$K^+ \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^+$	$(10^6 \text{ с}^{-1})$ 1,23	$1,36 \pm 0,06$
$K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$	$(10^6 \text{ с}^{-1})$ 2,56	$2,44 \pm 0,06$

Таблица 3. Нелептонные распады  $\eta_c$  в "древесном" приближении

Моды распадов	Вероятности (МэВ)	Моды распадов	Вероятности (МэВ)
$\eta_c \rightarrow K^+ K^- \pi^0$	0,47	$\eta_c \rightarrow \bar{K}^0 K^+ \pi^-$	0,95
$\eta_c \rightarrow K^+ K^- \eta$	0,16	$\eta_c \rightarrow K^0 K^- \pi^+$	0,95
$\eta_c \rightarrow K^0 \bar{K}^0 \pi^0$	0,48	$\eta_c \rightarrow \eta \eta \eta$	$6,1 \cdot 10^{-3}$
$\eta_c \rightarrow K^0 \bar{K}^0 \eta$	0,16		

Таблица 2. Слабые нелептонные распады  $D$ ;  $F$ ;  $\eta_c$ - мезонов в "древесном" приближении

Моды распадов $D^+$	Вероятности распадов (МэВ)	Моды распадов $D^0$	Вероятности распадов (МэВ)	Моды распадов $F^+$	Вероятности распадов (МэВ)	Моды распадов $\eta_c$	Вероятности распадов (МэВ)
$D^+ \rightarrow \bar{K}^0 \pi^+$	$4,5 \cdot 10^{-13}$	$D^0 \rightarrow K \bar{\pi}^+$	$1,05 \cdot 10^{-10}$	$F^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+$	0	$\eta_c \rightarrow D^0 K^0$	$1,7 \cdot 10^{-10}$
$D^+ \rightarrow \bar{K}^0 \pi^0 \pi^+$	$1,87 \cdot 10^{-11}$	$D^0 \rightarrow \bar{K}^0 \pi^0$	$5,96 \cdot 10^{-11}$	$F^+ \rightarrow \pi^+ \eta$	$1,32 \cdot 10^{-10}$	$\eta_c \rightarrow F^+ \pi^-$	$1,6 \cdot 10^{-10}$
$D^+ \rightarrow \bar{K}^0 \eta \pi^+$	$1,38 \cdot 10^{-11}$	$D^0 \rightarrow \bar{K}^0 \eta$	$3,02 \cdot 10^{-11}$	$F^+ \rightarrow K^+ \bar{K}^0$	$0,95 \cdot 10^{-10}$	$\eta_c \rightarrow F^+ \pi^- \pi^0$	$0,15 \cdot 10^{-11}$
$D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$	$8,9 \cdot 10^{-13}$	$D^0 \rightarrow \bar{K}^0 \pi^+ \pi^-$	$1,22 \cdot 10^{-10}$	$F^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$	$1,47 \cdot 10^{-9}$	$\eta_c \rightarrow K \bar{K}^+ D^0$	$0,61 \cdot 10^{-11}$
		$D^0 \rightarrow \bar{K}^0 \pi^0 \pi^0$	$6,02 \cdot 10^{-11}$	$F^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 \pi^0$	$0,93 \cdot 10^{-9}$	$\eta_c \rightarrow F^+ \pi^- \eta$	$0,7 \cdot 10^{-13}$
		$D^0 \rightarrow \bar{K}^0 \pi^0 \eta$	$4,9 \cdot 10^{-11}$	$F^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 \eta$	$3,44 \cdot 10^{-10}$	$\eta_c \rightarrow D^+ \pi^- K^0$	$0,38 \cdot 10^{-11}$
		$D^0 \rightarrow \bar{K}^0 \eta \eta$	$3,4 \cdot 10^{-11}$	$F^+ \rightarrow \pi^+ \eta \eta$	$2,8 \cdot 10^{-10}$	$\eta_c \rightarrow D^0 \pi^0 K^0$	$0,23 \cdot 10^{-11}$
		$D^+ \rightarrow K \bar{\pi}^+ \pi^0$	$3,6 \cdot 10^{-12}$	$F^+ \rightarrow K^+ K \bar{\pi}^+$	$4,23 \cdot 10^{-12}$		
		$D^+ \rightarrow K \bar{\pi}^+ \eta$	$2,8 \cdot 10^{-12}$	$F^+ \rightarrow K^+ \bar{K}^0 \pi^+$	$6,4 \cdot 10^{-12}$		
				$F^+ \rightarrow \bar{K}^0 \pi^0 \pi^+$	$8,3 \cdot 10^{-11}$		
				$F^+ \rightarrow \bar{K}^0 \eta \pi^+$	$6,6 \cdot 10^{-11}$		



Результаты диссертации опубликованы в работах:

- Ю.Л.Калиновский, В.Н.Первушин. ОИЯИ, P2-10175, 1976.  
Ю.Л.Калиновский, В.Н.Первушин, ЯФ, 29, 450, 1979;  
ОИЯИ, P2-11358, 1978.  
Ю.Л.Калиновский, В.Н.Первушин. ЯФ, 29, 475, 1979.  
Ю.Л.Калиновский. ОИЯИ. P2-11712, 1978.  
Ю.Л.Калиновский, С.О.Кривонос, В.Н.Первушин. ОИЯИ P2-12704, 1979.

### Литература

1. М.К.Волков, В.Н.Первушин. Существенно нелинейные квантовые теории, динамические симметрии и физика мезонов. Атомиздат, М., 1978.
2. J.Sakurai. Phys.Rev., 156, 1508, 1967.
3. H.Fritzsch, P.Minkowski. Ann. of Phys., 93, 193, 1975.
4. M.Gell-Mann, R.J.Oakes, B.Renner. Phys.Rev., 175, 2195, 1968.
5. R.J.Oakes. Phys.Lett., 29B, 683, 1979.
6. V.N.Pervushin, M.K.Volkov. Phys.Lett., 51B, 399, 1974.
7. G. 't Hooft, M.Veltman. Nucl.Phys., B44, 189, 1972.
8. E.Ebrahimm, Serdaroglu. Phys.Lett., 48B, 338, 1974.
9. T.Appelquist et al. SLAC-PUB-2100, 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел  
27 декабря 1979 года.