

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1-83-877

Нгуен Монг Зао

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРАВИЛ ОТБОРА,
ОСНОВАННЫХ НА КАЛИБРОВОЧНОЙ ИНВАРИАНТНОСТИ
ДЛЯ АНАЛИЗА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ
ПО РАСПАДАМ ЧАСТИЦ**

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук**

Дубна 1983

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность тем. Изучение правил отбора для распадов элементарных частиц является важной и актуальной задачей современной физики. Эти правила имеют большое значение при построении полевых теорий при анализе экспериментальных данных и в ориентировке экспериментального поиска.

Известно, что исходя из анализа экспериментальных данных, Гелл-Манн и Фейнман предложили правила отбора для элементарных частиц. Эти правила являются эмпирическими и имеют ограниченную область применения. Нарушение правил отбора Гелл-Манна-Фейнмана $\Delta I = \frac{1}{2}$ давно известно в литературе, а при изучении очарованных частиц найдены события, явно нарушающие правило $\Delta Q = \Delta S$.

Кроме того, в правилах Гелл-Манна-Фейнмана не учтены характеристики лептонов. С точки зрения современной теории лептоны и кварки являются равноправными фундаментальными частицами. Учет характеристик лептонов наряду с характеристиками кварков при построении правил отбора является интересной физической задачей. Выяснение физической сущности правил отбора Гелл-Манна-Фейнмана является также актуальной задачей современной физики.

Цель работы. Цель исследований, представленных в диссертации, состояла в том, чтобы установить правила отбора для всех видов распадов элементарных частиц. В этих правилах учитываются характеристики всех частиц, рожденных в распадах. Применение этих правил для анализа экспериментальных данных позволяет предсказать новые моды распада частиц и объясняет известные нарушения правил отбора Гелл-Манна-Фейнмана.

Научная новизна работы. Впервые:

- построены правила отбора для всех видов распадов элементарных частиц, при этом учтены характеристики всех частиц, рожденных в распадах;
- проведен анализ распадов элементарных частиц по этим правилам отбора. Выяснена роль лептонов и шуронов для правил отбора и показано, что полученные в диссертации правила отбора хорошо описывают экспериментальные данные по распадам элементарных частиц;
- выяснена физическая сущность правил Гелл-Манна-Фейнмана. Показано, что эти правила отбора являются частными случаями полученных в диссертации правил отбора;

Практическая ценность работы. Результаты, полученные в диссертации

Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ

ции, могут быть использованы при планировании новых экспериментов по физике высоких энергий и при объяснении существующих экспериментальных данных по распадам элементарных частиц.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на Международной конференции по физике высоких энергий в Лиссабоне (Португалия, 1981), на первом Национальном конгрессе болгарских физиков (София, 1983), на Международном семинаре по спиновым явлениям в физике высоких энергий (Протвино, ИФВЭ, 1983), на совещаниях сотрудничества по установке БИС-2, на семинарах ЛВЭ, ЛТФ ОИЯИ, на семинаре кафедры теоретической физики МГУ.

Публикации. Диссертация основана на 8 публикациях, список которых приведен в конце автореферата.

Автор защищает следующие основные результаты, полученные в диссертации:

1. Правила отбора для всех видов распадов элементарных частиц, учитывающие характеристики лептонов и шпуронов, рожденных в распадах.
2. Анализ экспериментальных данных распадов элементарных частиц по этим правилам отбора. Роль шпуронов и лептонов в распадах элементарных частиц.
3. Выяснение физической сущности правил отбора Гелл-Манна-Фейнмана.
4. Объяснение нарушений правил Галл-Манна $\Delta I = \frac{1}{2}$ и $\Delta Q = \Delta S$ в распадах элементарных частиц.

Содержание

В первой главе отмечается актуальность проблемы, которой посвящается диссертация. Изложены основные достижения и ограничения изотопических правил отбора, которые уже получены и используются в физике элементарных частиц. Рассмотрены правила Фейнмана-Гелл-Манна для полулептонных распадов. Обсуждена область применимости этих правил при сравнении с экспериментальными данными. Сформулирована основная цель диссертации: построение правил отбора для распадов элементарных частиц и применение этих правил для анализа экспериментальных данных.

Во второй главе изложены основные положения полевой теории с объединением обычной и внутренней (изотопической) симметрии в рамках восьмимерного пространства. Получены представления группы преобразований в объединенном пространстве. Показано, что между полевыми уравнениями нестранных и странных частиц имеется существенное различие. Эти уравнения исследованы и из них выведены два класса характеристик (обычных и внутренних) для соответствующих частиц. На этой основе построена классификация элементарных частиц. Следует подчерк-

нуть, что квантование полей произведено нормальным образом. Особое внимание уделено описанию распадов частиц. При этом показано, что в лагранжианы взаимодействия и, следовательно, в S -матрицу, полевые операторы входят в форме произведения обычных и внутренних полей. Группа симметрии является прямым произведением группы Пуанкаре и группы внутренней симметрии.

В третьей главе в рамках концепции объединенного пространства установлены правила отбора для распадов элементарных частиц с учетом их внутренних характеристик. В данном подходе частицы разделены на два класса: частицы первого и второго рода. Лептонам приписываются изотопические спины.

Показано, что при одновременном учете внутренних характеристик лептонов, шпуронов и адронов правила отбора для распадов элементарных частиц имеют вид:

$$\Delta I_3 = 0, \quad \Delta S = 0. \quad (I)$$

Рассмотрены некоторые свойства шпурона, уравнение шпуронного поля и его роль в распадах элементарных частиц, а также правило введения шпуронного поля. При этом:

1. Если число изополей частиц в начальном и конечном состояниях четко, то имеется два варианта для построения лагранжианов:
 - а) если $\Delta S = 0$, то в лагранжиан не входят шпуронные поля;
 - б) если $\Delta S \neq 0$, то в лагранжиан входят комбинации шпуронных полей.
2. Если число спиновых изополей нечетно, то в лагранжиан вводится нечетное число шпуронных полей.

Правила (I) применены при анализе данных по распадам элементарных частиц.

Показано, что все наблюдаемые моды распада укладываются в правила (I). Шпуронное поле необходимо вводить только при распадах странных и очарованных частиц. При этом в распадах K -мезонов присутствует шпурон A_2 , в распадах других странных частиц присутствует шпурон A_1 . В распадах странных частиц без изменения странности шпурон отсутствует. В распадах очарованных частиц могут присутствовать не более двух шпуронов. В конце этой главы обсуждается ограниченность данного подхода для анализа экспериментальных данных. Во-первых, для анализа распадов очарованных частиц нужно ввести понятие полной странности. Во-вторых, не объясняется запрет распадов с $\Delta Q \neq \Delta S$ и также физическая сущность правил отбора Гелл-Манна-Фейнмана. Эти проблемы будут решены на основе принципа калибровочной инвариантности и в рамках кварковой модели в IV главе.

В четвертой главе рассмотрены правила отбора для распадов элементарных частиц с привлечением требований калибровочной инвариантности первого рода и кварковой модели. Показано, что такой подход позволяет устранить трудности, о которых говорилось в главе III.

Приведена обобщенная формула Гелл-Манна-Нишиджими, которая справедлива для адронов, кварков, лептонов и шпуронов:

$$Q = I_3 + \frac{S + C + B - I_e - L_u}{2} \quad (2)$$

На основании калибровочного преобразования первого рода и обобщенной формулы Гелл-Манна-Нишиджими (2) было установлено, что в распадах элементарных частиц переходы, соответствующие

$$\Delta I_3 = 0, \quad \Delta S = 0, \quad \Delta C = 0, \quad \Delta B = 0, \quad \Delta L_e = 0, \quad \Delta L_u = 0, \quad (3)$$

являются разрешенными.

В формулах (2) и (3) I_3 - третья компонента изотопического спина, S - странность, C - очарованность, B , L_e , L_u - барионное, электронное, мезонное и лептонные числа соответственно.

$\Delta I_3 = \sum_f (I_3)_f - (I_3)_i$; $\sum_f (I_3)_f$ - алгебраическая сумма третьих компонент изотопического спина всех частиц, рожденных в распаде, включая лептоны и шпуроны; $(I_3)_i$ - третья компонента изотопического спина рождающейся частицы.

$$\Delta S = \sum_f (S)_f - S_i; \quad \Delta C = \sum_f (C)_f - C_i,$$

где $\sum_f (S)_f$, $\sum_f (C)_f$ - алгебраическая сумма квантовых чисел странности и очарованности, включая шпуроны, рожденные в распаде; S_i и C_i - странность и очарованность распадающейся частицы. Отмечено, что в формулах (3) учтены характеристики всех частиц, участвующих в распадах, включая кварки, лептоны и шпуроны, квантовые характеристики которых даны в таблице I.

В отличие от главы III, здесь правила отбора получены последовательным путем из формулы (2) и калибровочной инвариантности.

На основе правил отбора (3) и квантовой модели проведен систематический анализ данных по распадам элементарных частиц. Показано, что правила отбора (3) полностью совпадают с экспериментальными данными. Адронные распады странных частиц весьма разнообразны, но их общей чертой является превращение s -кварка в u -кварк с испусканием шпурона λ_1 . Полулептонные распады с изменением странности обусловлены превращением s -кварка в u -кварк с испусканием пары лептонов и шпурона λ_1 . Полулептонные распады без изменения странности вызваны переходом d -кварка в u -кварк с испусканием пары

лептонов. Распады, имеющие $\Delta S = 2$, требуют одновременного превращения двух s -кварков в обычные кварки. Вероятность этого процесса мала. Действительно, такие распады, например, $\Xi^- \rightarrow \pi \pi^-$, $\Omega^- \rightarrow \pi \pi^-$ пока не наблюдаются.

Вообще говоря, для странных частиц любой процесс, требующий одновременного превращения двух кварков, практически не наблюдается, ибо его вероятность есть произведение вероятностей двух редких процессов.

Из этих соображений являются запрещенными следующие распады:

$$\Sigma^+ \rightarrow \pi^+ \gamma (\mu^+ \nu),$$

$$K^0 \rightarrow \pi^0 e^- \bar{\nu} (\mu^- \bar{\nu}).$$

Таблица I. Некоторые характеристики кварков, лептонов и шпуронов

Квантовые характеристики	Частицы									
	u	d	s	c	e^-	$\bar{\nu}_e$	μ^-	$\bar{\nu}_\mu$	λ_1	λ_2
Q	$\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$\frac{2}{3}$	-1	0	-1	0	0	0
I_3	$\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0	0	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$
B	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	0	0	0	0	0	0
S	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1	0
C	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
L_e	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0
L_u	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0

Показано, что любые распады, требующие одновременного превращения двух кварков, имеют

$$\Delta Q^a \neq \Delta S,$$

где ΔQ^a и ΔS^a относятся только к адронам. Итак, в распадах странных частиц присутствует только один шпурон λ_1 (или $\bar{\lambda}_1$).

Адронные распады очарованных частиц обусловлены переходами:

$$c \rightarrow u + \lambda_2 \quad (\text{например, } D^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-)$$

$$\text{или } \begin{cases} c \rightarrow u + \lambda_2 \\ s \rightarrow d + \lambda_1 \end{cases} \quad (\text{например, } D^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-)$$

$$D^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$$

$$D^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$$

$$D^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$$

$$D^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$$

Полулептонные распады очарованных частиц вызваны переходами:

или $c \rightarrow d e^+ \nu + \nu_2$ (например, $D^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- e^+ \nu$)
 или $c \rightarrow s e^+ \nu + \nu_1 + \nu_2$ (например, $D^+ \rightarrow K^+ \pi^- e^+ \nu$).

В этих распадах возможно присутствие одного шпурона ν_1 ($\bar{\nu}_2$) и одного шпурона ν_2 ($\bar{\nu}_1$). Обсуждена связь между правилами отбора Гелл-Манна-Фейнмана и правилами (3).

В таблице 2 представлены разрешенные по правилам (3) кварковые переходы и их характеристики.

Таблица 2

Кварковый переход и его характеристики без учета характеристик шпуронов и лептонов	Кварковый переход с учетом квантовых характеристик шпуронов и лептонов	Распады, вызываемые этим переходом
$s \rightarrow d$ $\Delta I_3 = \frac{1}{2} \rightarrow \Delta I = \frac{1}{2}, (\frac{3}{2})$ $\Delta S = 1, \Delta Q = 0$	$s \rightarrow d + \nu_1$ $\Delta I_3 = 0, \Delta S = 0, \Delta Q = 0$	Адронные распады с изменением странности: $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$, $\Sigma^+ \rightarrow \pi \pi^+$ $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$, $\Sigma^+ \rightarrow \pi \pi^+$ $\Lambda \rightarrow p \pi^-$, $\Xi^0 \rightarrow \Lambda \pi^+$ $\Lambda \rightarrow n \pi^0$, $\Xi^0 \rightarrow \Lambda \pi^+$ $\Sigma^+ \rightarrow p \pi^0$, $\Omega^- \rightarrow \Lambda K^-$
$d \rightarrow u e^- \bar{\nu} (\mu^- \bar{\nu})$ $\Delta I_3 = 1, \Delta Q = 1, \Delta S = 0$	$d \rightarrow u e^- \bar{\nu} (\mu^- \bar{\nu})$ $\Delta I_3 = 0, \Delta S = 0, \Delta Q = 0$	Полулептонные распады, не изменяющие странность, например: $n \rightarrow p e^- \bar{\nu}$ $\Sigma^+ \rightarrow \Lambda e^+ \nu$, $\Sigma^- \rightarrow \Lambda e^- \bar{\nu}$
$s \rightarrow u e^- \bar{\nu} (\mu^- \bar{\nu})$ $\Delta I_3 = \frac{1}{2}, \Delta Q = \Delta S$ Только такой переход соответствует правилам Гелл-Манна-Фейнмана	$s \rightarrow u e^- \bar{\nu} (\mu^- \bar{\nu}) + \nu_1$ $\Delta I_3 = 0, \Delta S = 0, \Delta Q = 0$	Полулептонные распады с изменением странности. Правило Фейнмана-Гелл-Манна выполняется, например: $\Lambda \rightarrow p e^- \bar{\nu} (\mu^- \bar{\nu})$ $\Sigma^- \rightarrow n e^- \bar{\nu} (\mu^- \bar{\nu})$ $\Xi^- \rightarrow \Lambda e^- \bar{\nu} (\mu^- \bar{\nu})$
$c \rightarrow u$ $\Delta I_3 = \frac{1}{2}, \Delta C = -1$ $\Delta Q = \Delta S = 0$	$c \rightarrow u + \nu_2$ $\Delta I_3 = 0, \Delta C = 0, \Delta S = 0$	Адронные распады очарованных частиц $D^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^0$, $D^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^-$ $D^0 \rightarrow K^+ K^-$, $D^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$

Продолжение таблицы 2

$c \rightarrow d e^+ \nu$ $ \Delta I_3 = \frac{1}{2}, \Delta S = 0, \Delta C = 0$ $\Delta Q = -1$	$c \rightarrow d e^+ \nu + \nu_2$ $\Delta I_3 = 0, \Delta C = 0$ $\Delta S = 0, \Delta Q = 0$	Полулептонные распады с изменением очарованности, но не изменяющие странность $D^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- e^+ \nu$ $D^+ \rightarrow \pi^- e^+ \nu$
$c \rightarrow s e^+ \nu$ $\Delta I_3 = 0, \Delta S = \Delta C = \Delta Q = 1$	$c \rightarrow s e^+ \nu + \nu_1 + \nu_2$ $\Delta I_3 = 0, \Delta S = 0, \Delta C = 0$ $\Delta Q = 0$	Полулептонные распады с изменением странности и очарованности $D^0 \rightarrow K^- \pi^+ e^- \nu (\mu^- \bar{\nu})$

Из таблицы видно, что переход 1 относится к адронным распадам странных частиц, 2 - к полулептонным распадам без изменения странности, 3 - к полулептонным с изменением странности, 4 - к адронным распадам очарованных частиц, 5 - к полулептонным распадам очарованных частиц без изменения странности. Все эти распады наблюдаются экспериментально.

Если не учитывать роль шпуронов и лептонов, присутствующих в этих переходах, то имеем:

а) переход $s \rightarrow u e^- \bar{\nu} (\mu^- \bar{\nu})$ подчиняется трем правилам Гелл-Манна-Фейнмана

$$\Delta Q = \Delta S, \Delta S = 1, \Delta I_3 = \frac{1}{2} \rightarrow \Delta I = \frac{1}{2}, (\frac{3}{2})$$

б) переход $c \rightarrow s e^+ \nu$ подчиняется правилам

$$\Delta Q = \Delta S = \Delta C, |\Delta S| = 1, \Delta I = 0, 1$$

(т.е. нарушается правило $\Delta I = \frac{1}{2}$)

в) переходы $s \rightarrow d$ и $c \rightarrow u$ имеют $\Delta I = \frac{1}{2}, (\frac{3}{2})$, но $\Delta Q \neq \Delta S$

г) переходы $c \rightarrow d e^+ \nu (\mu^+ \nu)$, $d \rightarrow u e^- \bar{\nu}$ не подчиняются ни одному из правил Гелл-Манна-Фейнмана.

Таким образом, правила Гелл-Манна-Фейнмана $\Delta Q = \Delta S$ являются частным случаем правил (3) при описании полулептонных распадов с изменением странности, обусловленных переходами

$$s \rightarrow u e^- \bar{\nu} (\mu^- \bar{\nu}).$$

Правило $\Delta I = \frac{1}{2}$ является также частным случаем правил (3) при описании адронных распадов странных частиц, вызываемых переходами кварков $c \rightarrow u$ и $s \rightarrow d$.

Показано, что нарушение правила $\Delta I = \frac{1}{2}$ при переходах $s \rightarrow d$

и с. и происходит потому, что в этих распадах $\Delta I_3 = \frac{1}{2}$ и вследствие этого не исключена возможность перехода с $\Delta I = \frac{3}{2}$. В других распадах $\Delta I_3 = 0$ и, следовательно, $\Delta I = 0, 1$ (правила $\Delta I = \frac{1}{2}$ не выполняются).

В заключение сформулированы основные результаты, полученные в диссертации, которые выносятся на защиту.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Нгуен Монг Зао. ОИЯИ, Р1-83-637, Дубна, 1983.
2. Нгуен Монг Зао. ОИЯИ, Р1-83-832, Дубна, 1983.
3. Нгуен Монг Зао. В сб.: Материалы Международного семинара по спиновым явлениям в физике высоких энергий (Протвино, ИФВЭ, 1983).
4. Нгуен Монг Зао. Доклад на первом национальном конгрессе физиков Болгарской Народной Республики (София), 1983, с. 4.
5. Duong van Phi and Ngyuen Mong Giao. International Conference on High Energy Physics. Lisbon, Portugal, 1981, p. 305.
6. Знонг Ван Фи, Нгуен Монг Зао. ОИЯИ, Р1-81-779, Дубна, 1981.
7. Знонг Ван Фи, Нгуен Монг Зао. ОИЯИ, Р2-82-49, Дубна, 1982.
8. Знонг Ван Фи, Нгуен Монг Зао. ОИЯИ, Р2-82-50, Дубна, 1982.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 декабря 1983 года.