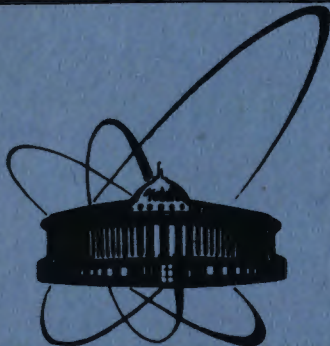


9/1-84



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

161/84

P1-83-637

Нгуен Монг Зао

КАЛИБРОВОЧНАЯ ИНВАРИАНТНОСТЬ
И ПРАВИЛА ОТБОРА
ДЛЯ РАСПАДОВ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Направлено на Рабочее совещание по исследованиям
на установке БИС-2 и 2-метровой пропановой
камере /Варна, сентябрь 1983 года/

1983

1. Калибровочные преобразования первого рода, осуществляемые над функциями $\psi(x) = \begin{pmatrix} \psi_1(x) \\ \psi_2(x) \\ \vdots \\ \psi_n(x) \end{pmatrix}$ произвольного комплексного поля,

имеют следующий вид:

$$\psi(x) \rightarrow \psi'(x) = \begin{pmatrix} \psi'_1(x) \\ \psi'_2(x) \\ \vdots \\ \psi'_n(x) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \psi_1(x) e^{ia} \\ \psi_2(x) e^{ia} \\ \vdots \\ \psi_n(x) e^{ia} \end{pmatrix}. \quad /1/$$

Как известно, при помощи теории Нетера из инвариантности относительно преобразования /1/ можно получить закон сохранения заряда поля:

$$Q = \text{const}. \quad /2/$$

Представим Q в следующем виде:

$$Q = I_3 + \frac{S + C + B - L_e - L_\mu}{2} \quad /3/$$

где Q - заряд данной частицы, I_3 - третья компонента изотопического спина частиц, S, C - странность и очарованность соответственно, B, L - барионное и лептонное числа.

/3/ является обобщенной формулой Гелл-Манна-Нишиджимы; она справедлива не только для адронов, но и для кварков, лептонов и шпуронов, квантовые характеристики которых даны в таблице. Отмечено, что при этом кварковый состав адронов сохраняется в обычном виде^{/1,2/}. Из /2/ и /3/ получены формулы

$$\Delta I_3 = 0, \Delta S = 0, \Delta C = 0, \Delta B = 0, \Delta L_e = 0, \Delta L_\mu = 0 \quad /4/$$

В /4/ $\Delta I_3 = \sum_f (I_3)_f - (I_3)_i$; $\sum_f (I_3)_f$ - алгебраическая сумма третьих компонент изотопического спина всех частиц, рожденных в распаде, включая лептоны и шпуроны^{/4,5/}. $(I_3)_i$ - третья компонента изотопического спина распадающейся частицы,

Таблица

Некоторые характеристики кварков, лептонов и шпурионов

| Квантовые характеристики | Частицы | | | | | | | | | | |
|--------------------------|---------------|----------------|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---|----------------|----------------|
| | u | d | s | c | e ⁻ | ν _e | μ ⁻ | ν _μ | γ | Δ ₁ | Δ ₂ |
| Q(e) | $\frac{2}{3}$ | $-\frac{1}{3}$ | $-\frac{1}{3}$ | $\frac{2}{3}$ | -1 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| I ₃ | $\frac{1}{2}$ | $-\frac{1}{2}$ | 0 | 0 | $-\frac{1}{2}$ | $-\frac{1}{2}$ | $-\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{2}$ | 0 | $\frac{1}{2}$ | $-\frac{1}{2}$ |
| S | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 |
| C | 0 | 0 | 0 | +1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | +1 |
| B | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{3}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| L | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |

$$\Delta S = \sum_f (S)_f - S_i,$$

$$\Delta C = \sum_f (C)_f - C_i.$$

где $\sum_f (S)_f, \sum_f (C)_f$ - алгебраическая сумма квантовых чисел странности и очарованности, включая шпурионы, рожденные в распаде; S_i и C_i - странность и очарованность распадающейся частицы; B и L - барионное и лептонное числа.

2. Правила /4/ разрешают распады

$$K^+ \rightarrow \mu^+ (e^+) \nu.$$

В этом распаде происходит следующее превращение:

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

или

$$\bar{s} \rightarrow u \mu^+ (e^+) \nu + \Delta_1$$

$$I_3 \quad 0 \quad -\frac{1}{2} \quad \frac{1}{2} \quad \frac{1}{2} \quad -\frac{1}{2}$$

$$S \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad +1$$

Включив шпурион Δ₁ в схему, мы получаем

$$\Delta S = 0, \Delta I_3 = 0, \Delta B = 0, \Delta L = 0 \dots$$

В этом распаде, не учитывая роли шпуриона, имеем ΔQ = -1 = ΔS. Известно, что изотопические правила отбора Гелл-Манна-Фейнмана /3/ не относятся к распадам

$$p \rightarrow p e^- \nu_e,$$

ибо в этом распаде не происходит изменение странности. Однако этот распад разрешен по правилам /4/:

$$p \rightarrow p e^- \nu_e,$$

$$udd \rightarrow uude^- \nu_e.$$

Здесь происходит превращение

$$d \rightarrow ue^- \bar{\nu},$$

$$I_3 \quad -\frac{1}{2} \quad \frac{1}{2} \quad -\frac{1}{2} \quad -\frac{1}{2}$$

$$S \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0$$

Имеется также ΔI₃ = 0, ΔS = 0, ΔB = 0 Следующие распады являются разрешенными по правилам /4/:

$$\Lambda \rightarrow p \pi^-,$$

$$\Lambda \rightarrow n \pi^0,$$

$$\Sigma^+ \rightarrow p \pi^+,$$

$$\Sigma^+ \rightarrow p \gamma,$$

$$\Sigma^+ \rightarrow p \pi^+,$$

$$\Sigma^- \rightarrow n \pi^-,$$

$$\Xi^0 \rightarrow \Lambda \pi^0,$$

$$\Xi^0 \rightarrow \Sigma^0 \gamma,$$

$$\Omega^- \rightarrow \Lambda K^-,$$

$$\Omega^- \rightarrow \Xi^0 \pi^-,$$

$$\Omega^- \rightarrow \Xi^- \pi^0,$$

$$\Omega^- \rightarrow \Xi^0 (1630) \pi^-.$$

Неотъемлемая черта всех этих распадов - превращение s-кварка в d-кварк с испусканием шпуриона Δ_1

$$s \rightarrow d + \Delta_1. \quad /5/$$

Видно, что адронные распады странных частиц весьма разнообразны, но их роднит то, что мы всюду находим превращение /5/, в котором правило $\Delta Q = \Delta S$ нарушается. В силу этого к адронным распадам странных частиц правила Гелл-Манна-Фейнмана не применимы.

Следующие полулептонные распады являются также разрешенными по правилам /4/:

$$1. K^+ \rightarrow \mu^+ \nu \pi^+ \pi^-,$$

$$2. \Sigma^- \rightarrow n e^- \bar{\nu},$$

$$3. \Sigma^- \rightarrow n \mu^- \bar{\nu},$$

$$4. \Lambda \rightarrow p e^- \bar{\nu},$$

$$5. \Lambda \rightarrow p \mu^- \bar{\nu},$$

$$6. \Xi^- \rightarrow \Lambda e^- \bar{\nu},$$

$$7. \Xi^- \rightarrow \Sigma^0 e^- \bar{\nu},$$

$$8. \Xi^- \rightarrow \Lambda \mu^- \bar{\nu},$$

$$9. \Xi^- \rightarrow \Sigma^0 e^- \bar{\nu},$$

$$10. \Xi^0 \rightarrow \Sigma^+ \mu^- \bar{\nu},$$

$$11. \Xi^0 \rightarrow \Sigma^+ e^- \bar{\nu}.$$

В этих реакциях происходят распады s-кварка на u-кварк и лептонные пары с испусканием шпуриона Δ_1

$$s \rightarrow u e^- (\mu^-) \bar{\nu} + \Delta_1, (\bar{s} \rightarrow \bar{u} e^+ (\mu^+) \nu + \bar{\Delta}_1). \quad /6/$$

Если не учтена роль шпуриона, то в превращении /6/ выполняются соотношения

$$\Delta Q = \Delta S, |\Delta S| = 1.$$

т.е. выполняются правила Гелл-Манна-Фейнмана. Итак, правила Гелл-Манна-Фейнмана совпадают с правилами /4/ при описании полулептонных распадов, где происходит превращение s-кварка в u-кварк и лептонную пару. Правила /4/ разрешают также следующие распады:

$$\Sigma^- \rightarrow \Lambda e^- \bar{\nu},$$

$$\Sigma^+ \rightarrow \Lambda e^+ \nu.$$

В них происходят превращения

$$d \rightarrow u e^- \bar{\nu}.$$

Эти распады не подчиняются правилам $\Delta Q = \Delta S$. При распаде на обычные частицы странный кварк /s-кварк/ испускает шпурион Δ_1 / Δ_1 имеет $I_3 = \frac{1}{2}$ и $s = -1/2$. Для этого процесса требуется некоторое время. Это объясняет, почему странные частицы имеют большее время жизни по сравнению с нестранными частицами, имеющими схожие массы.

Распад с изменением странности на 2 единицы / $\Delta S = 2$ / требует превращения одновременно двух странных кварков. Вероятность этого процесса, очевидно, исчезающе мала, так как она представляет собой произведение вероятностей двух редких процессов, иначе говоря, процесс с $\Delta S = 2$ имеет значительно большее характерное время /по сравнению с $\Delta S = 1$ / и практически не успевает осуществиться. В силу этих соображений следующие процессы являются запрещенными:

$$\Xi^- \rightarrow n \mu^- \nu,$$

$$\Xi^- \rightarrow n e^- \nu,$$

$$\Xi^- \rightarrow n \pi^-,$$

$$\Omega^- \rightarrow \Lambda \pi^-.$$

Действительно, подобные распады пока не наблюдались /8/. Вообще говоря, любой процесс, требующий одновременного превращения двух кварков, практически не наблюдается, ибо он требует много времени. За это время реакция наверняка пойдет по другим, более вероятным каналам с меньшим характерным временем /то есть по каналам, требующим распада лишь одного кварка/. Из этих соображений являются запрещенными следующие распады:

$$\Sigma^+ \rightarrow p e^+ \nu$$

$$(su \rightarrow dde^+ \nu),$$

$$K^0 \rightarrow \pi^+ e^- \bar{\nu}$$

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

Интересно отметить, что высшие моды распада являются запрещенными по правилам Гелл-Манна-Фейнмана /так как $\Delta S \neq \Delta Q$ /. Экспериментально они пока не зафиксированы.

В случае очарованных частиц картина может изменяться: порой реакция с распадом двух кварков есть единственно возможный вариант для данной частицы и такие реакции действительно наблюдаются /6,7/, но лишь спустя продолжительное время - вот почему очарованные частицы живут дольше, чем странные подобных масс. Более подробно вопрос о применении правил отбора /4/ для распадов очарованных частиц будет освещен в отдельной работе.

В заключение отметим: анализ всех мод распада показал, что правила /4/ дают хорошее согласие с экспериментальными данными. Все наблюдаемые моды распада элементарных частиц укладываются в правила отбора /4/. Правила /4/ - универсальны, они применимы для сильных, электромагнитных и слабых распадов. Из правил /4/ можно получить обычные изотопические правила отбора, введенные Гелл-Манном-Фейнманом для слабых распадов с изменением странности

Автор выражает искреннюю благодарность профессору А.А.Кузнецову, М.Ф.Лихачеву за поддержку в работе, а В.Л.Любовицу за обсуждение и интерес к работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Glashow S., Iliopoulos J., Maiani L. Phys.Rev.ser.D, 1970, v. 2, p. 1285.
2. Захаров В.И., Иоффе Б.Д., Окунь Л.Б. УФН, 1975, т. 117, с. 228.
3. Feynman R.P., Gell-Mann M. Phys.Rev., 1958, 109, p. 193.
4. Зыонг Ван Фи, Нгуен Монг Зао. ОИЯИ, P1-81-779, Дубна, 1981.
5. Зыонг Ван Фи, Нгуен Монг Зао. ОИЯИ, P2-82-49, Дубна, 1982.
6. Snopce A.M. et al. Phys.Rev.Lett., 1979, v.42, No.4, p. 197.
7. Алеев А.Н. и др. ЯФ, 1982, т. 37, вып. 6, с. 1474.
8. Reviews of Modern Physics, 1980, vol.52, No.2, p.11.

Рукопись поступила в издательский отдел
10 октября 1983 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

| | | |
|---------------|---|------------|
| Д3-11787 | Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978. | 3 р. 00 к. |
| Д13-11807 | Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978. | 6 р. 00 к. |
| Д1,2-12036 | Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/ | 7 р. 40 к. |
| Д1,2-12450 | Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978 | 5 р. 00 к. |
| Д1,2-12450 | Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978. | 3 р. 00 к. |
| Д11-80-13 | Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/ | 8 р. 00 к. |
| Д11-80-13 | Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979 | 3 р. 50 к. |
| Д4-80-271 | Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979. | 3 р. 00 к. |
| Д4-80-385 | Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980. | 5 р. 00 к. |
| Д4-80-385 | Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981 | 2 р. 50 к. |
| Д10,11-81-622 | Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980 | 2 р. 50 к. |
| Д1,2-81-728 | Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981. | 3 р. 60 к. |
| Д17-81-758 | Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981. | 5 р. 40 к. |
| Д1,2-82-27 | Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981. | 3 р. 20 к. |
| Р18-82-117 | Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981. | 3 р. 80 к. |
| Д2-82-568 | Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982. | 1 р. 75 к. |
| Д9-82-664 | Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982. | 3 р. 30 к. |
| Д3,4-82-704 | Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982. | 5 р. 00 к. |

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

| Индекс | Тематика |
|--------|--|
| 1. | Экспериментальная физика высоких энергий |
| 2. | Теоретическая физика высоких энергий |
| 3. | Экспериментальная нейтронная физика |
| 4. | Теоретическая физика низких энергий |
| 5. | Математика |
| 6. | Ядерная спектроскопия и радиохимия |
| 7. | Физика тяжелых ионов |
| 8. | Криогеника |
| 9. | Ускорители |
| 10. | Автоматизация обработки экспериментальных данных |
| 11. | Вычислительная математика и техника |
| 12. | Химия |
| 13. | Техника физического эксперимента |
| 14. | Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами |
| 15. | Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях |
| 16. | Дозиметрия и физика защиты |
| 17. | Теория конденсированного состояния |
| 18. | Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники |
| 19. | Биофизика |

Нгуен Монг Зао P1-83-637
Калибровочная инвариантность и правила отбора для распада элементарных частиц

Формула Гелл-Манна-Нишиджимы была обобщена для описания кварков, лептонов и шпуронов. На основе калибровочной инвариантности и обобщенной формулы Гелл-Манна-Нишиджимы получены правила отбора для распадов элементарных частиц. Показано, что полученные правила отбора справедливы для всех видов распадов элементарных частиц.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Nguyen Mong Giao P1-83-637
Calibration Invariance and Selection Rules for the Decay of Elementary Particles

The Gell-Mann-Nishigima formula has been generalized for quark, lepton, photon and spurion description. Selection rules for the decays of elementary particles have been obtained from gauge invariance and the generalized Gell-Mann-Nishigima formula. It is shown that the selection rules are valid for all types of elementary particle decays.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод Л.Н.Барабаш