

0 - 355

4-81-647

ОВЧИННИКОВА
Анна Анатольевна

**ИССЛЕДОВАНИЕ
СТРУКТУРЫ ГАМИЛЬТОНИАНА
СЛАБОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
В РЕДКИХ ПРОЦЕССАХ**

**Специальность: 01.04.16 - физика атомного ядра
и элементарных частиц**

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

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований.

Научные руководители:

доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

С.М.БИЛЕНЬКИЙ,

кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник

М.ИМИТРО.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

Г.М.ВАГРАДОВ,

кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник

Г.В.МИЦЕЛЬМАХЕР.

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Физический институт АН СССР им. П.Н.Лебедева, г. Москва.

Автореферат разослан "___" _____ 1981 года.

Защита диссертации состоится "___" _____ 1981 года на заседании специализированного совета К047.01.01 Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

кандидат физико-математических наук

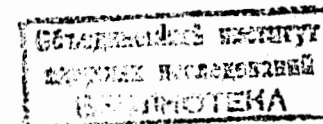
В.И.ЖУРАВЛЕВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Изучение ядерных процессов при низких и средних энергиях было и остается одним из важнейших источников получения информации не только о структуре ядра, но и о фундаментальных взаимодействиях элементарных частиц. В частности, исследование слабых процессов с участием ядер позволило получить важную информацию о свойствах слабого взаимодействия. В процессах с участием ядер было обнаружено несохранение пространственной четности и нарушение инвариантности относительно зарядового сопряжения, показано, что $V-A$ структура эффективного гамильтониана не противоречит имеющимся данным, подтверждена гипотеза сохранения векторного тока и частичного сохранения аксиального тока, получены веские доказательства $\mu-e$ -универсальности и т.д.

В последние десятилетия произошел большой прогресс в физике слабого взаимодействия. На основе принципа спонтанно нарушенной локальной симметрии была создана перенормируемая $SU(2) \times U(1)$ -теория электрослабого взаимодействия, которая позволила описать все имеющиеся данные и сделать ряд важных предсказаний. Эта теория была предложена Глэшоу, Вайнбергом, Саламом. В низшем порядке теории возмущений результаты новой теории (в той части, которая относится к заряженным токам) согласуются с результатами феноменологической $V-A$ теории слабого взаимодействия. Теория Глэшоу-Вайнберга-Салама (так называемая стандартная теория) представляет новый этап в понимании слабого взаимодействия. Однако многие предположения, на которые она опирается, требуют дальнейшего экспериментального исследования.

Проверка гипотез, на которых базируется стандартная теория электрослабого взаимодействия, — крайне актуальная в настоящее время задача. С этой целью ведутся исследования во всем доступном диапазоне энергий. В области высоких энергий разрабатываются проекты создания встречных пучков ($p-p, p-\bar{p}, e^+e^-, p-e$) с энергиями, при которых можно ожидать рождения W - и Z -бозонов. Область низких энергий также дает широкие возможности для проверки фундаментальных гипотез, таких, как закон сохранения лептонных чисел. В настоящее время на мезонных фабриках ведутся поиски процессов, которые обусловлены отклонениями от этого закона. Одним из таких процессов является $\mu-e$ -конверсия. Вероятность этой реакции зависит от фактора Z , заряда частицы или ядра, на котором происходит конверсия, т.е. скорость этого процесса на ядрах выше, чем на нуклоне. В связи с этим первостепенное значение приобретает поиск $\mu-e$ -конверсии в ядрах.



В настоящей работе рассматриваются радиационный μ -захват (FMЗ) ядрами, μ -e-конверсия и атомный распад нейтрона. Показано, что экспериментальное исследование этих процессов позволило бы получить важную информацию о структуре гамильтониана слабого взаимодействия.

Основная цель работы - исследование возможности проверки структуры гамильтониана слабого взаимодействия в редких процессах.

Для этого следовало:

1. Рассмотреть процесс FMЗ протоном и ядрами ${}^3\text{He}$, ${}^{12}\text{C}$. Разработать метод построения амплитуды для протона (элементарной амплитуды) на основе общих свойств слабых нуклонных токов. С помощью разработанного метода построить ядерные амплитуды FMЗ в рамках подхода к ядру как к элементарной частице.

Провести количественный анализ зависимости полученных числовых результатов для спектра вылетающих γ -квантов от величины псевдоскалярного (нуклонного или ядерного) формфактора.

Выяснить, насколько чувствительными являются величина и форма γ -спектра FMЗ ядром ${}^{12}\text{C}$ к значению массы мюонного нейтрино. Рассмотреть характеристики спектра, слабо зависящие от псевдоскалярного формфактора. Получить численные оценки, характеризующие их изменения при изменении величины массы нейтрино.

3. Рассмотреть процесс μ -e-конверсии на ядре ${}^{16}\text{O}$ в рамках оболочечной ядерной модели $1/1$. Оценить вклад в полную вероятность процесса переходов, сопровождающихся возбуждением ядра. Сравнить результаты расчетов относительной вероятности конверсии, проведенных в импульсном и "кварковом" $1/2$ приближениях.

4. Рассмотреть распад нейтрона на атом водорода и антинейтрино (атомный распад) в предположении, что эффективный гамильтониан содержит все пять вариантов слабого взаимодействия (S, P, T, V, A). Выяснить, насколько чувствительна теоретическая величина относительной вероятности распада по различным поляризационным каналам к S, P, T -типам взаимодействия.

Научная новизна и практическая ценность. Разработан новый метод построения элементарной амплитуды FMЗ. Метод основан на использовании гипотез алгебры токов: о величине одновременных коммутаторов токов и условиях сохранения слабых токов. Получена и с учетом q^2 -зависимости слабых формфакторов решена система уравнений для радиационных формфакторов, входящих в элементарную амплитуду FMЗ. Полученное калибровочно-инвариантное выражение для амплитуды удовлетворяет условиям сохранения векторного тока (СВТ), частичного сохранения аксиального тока (ЧСАТ), включает члены второго порядка по импульсу фотона k и

переданному нуклону импульсу q , в низшем порядке согласуется с результатами теории возмущений.

Рассмотрена связь процессов FMЗ, μ -захвата и фоторождения пиона. Эта связь является следствием гипотез СВТ и ЧСАТ. Показано, что уравнения для радиационных формфакторов дают также дополнительную информацию о немассовом продолжении амплитуды фоторождения пиона.

На основе разработанного метода получены выражения для амплитуд FMЗ ядрами ${}^3\text{He}$ и ${}^{12}\text{C}$. При этом ядро рассматривалось как элементарная частица. Амплитуды выражаются через слабые ядерные формфакторы и по построению удовлетворяют условиям СВТ, ЧСАТ.

Вычислены спектры γ -квантов FMЗ. Показано, что при их вычислении необходимо учитывать q^2 -зависимость формфакторов. Исследована зависимость величины и формы спектра от псевдоскалярного формфактора F_P . Проведено количественное исследование чувствительности слабо-зависящих от F_P характеристик γ -спектра в FMЗ ядром ${}^{12}\text{C}$ к величине массы мюонного нейтрино.

Данный метод построения амплитуды может быть использован для описания других радиационных процессов со слабыми заряженными токами.

Рассмотрен процесс μ -e-конверсии на ядре ${}^{16}\text{O}$ в рамках оболочечной ядерной модели. Оценен вклад переходов с возбуждением ядра в полную вероятность процесса.

Рассмотрен атомный распад нейтрона (протон и электрон образуют связанное состояние - атом водорода). Наряду с V - и A - в гамильтониан слабого взаимодействия включены S, P, T - варианты. Показано, что относительная вероятность распада по различным поляризационным каналам чувствительна к механизму слабого взаимодействия.

Результаты диссертации могут быть использованы при планировании новых экспериментов, имеющих своей целью провести проверку закона сохранения лептонных чисел, выяснить вопрос о наличии S, T - вариантов слабого взаимодействия, получить информацию о массе мюонного нейтрино, определить величину псевдоскалярного формфактора, проверить соотношение Гольдбергера-Треймана в ядрах.

При решении физических проблем был рассмотрен ряд методических задач, представляющих самостоятельный интерес. Впервые построен аппарат релятивистских тензорных гармоник для случая двух переменных, который можно использовать при рассмотрении реакции $a+b \rightarrow 1+2+3$. Построены независимые гармоники в сферическом и спиральном базисах. Были получены новые уравнения, позволяющие выделять зависимые коварианты в декартовом базисе. Эти результаты могут быть использованы при изучении свойств T -матрицы для реакций с тремя и более частицами в конечном состоянии.

Для защиты выдвигаются следующие результаты:

1. Построение элементарной амплитуды РМЗ. Построение амплитуды РМЗ для ядер ^3He , ^{12}C .

2. Вычисление спектров γ -квантов, образующихся в РМЗ протоном и ядрами ^3He , ^{12}C . Исследование зависимости величины и формы спектра от значения псевдоскалярного (нуклонного или ядерного) форм-фактора. Сравнение полученных результатов с результатами импульсного приближения.

3. Исследование зависимости характеристик высокоэнергетической части спектра γ -квантов РМЗ ядром ^{12}C от массы мюонного нейтрино.

4. Оценка относительного вклада неупругих процессов в полную вероятность μ - e -конверсии на ядре ^{16}O . Сравнение числовых результатов, полученных в импульсном и "кварковом" приближениях^{/2/}.

5. Исследование чувствительности относительной вероятности атомного распада нейтрона по различным поляризационным каналам к величине S -, T - примесей в эффективном гамильтониане слабого взаимодействия.

6. Построение аппарата релятивистских тензорных гармоник двух переменных. Вывод формулы для определения числа независимых гармоник. Получение уравнений, позволяющих выделять зависимые коварианты в декартовой базе.

Апробация работы. Результаты, полученные в работе, докладывались и обсуждались на семинарах ЛТФ, ЛЯП ОИЯИ, НИИЯФ МГУ, ИЯИ, на Международной школе по структуре ядра (Алушта, 1980). Часть результатов (по исследованию РМЗ) была также доложена на семинарах в ЦВРНе, СИНе (Швейцария) и была представлена на IX Международную конференцию по проблемам нескольких тел (Юджин, США, авг. 1980) и на Международный симпозиум "Мезоны и легкие ядра" (Либлица, ЧССР, июнь 1981).

Публикации. По результатам диссертации опубликовано семь работ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав основного содержания, заключения и четырех приложений, содержит 134 страницы машинописного текста, 14 рисунков и 3 таблицы. Библиографический список литературы включает 81 наименование.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введении кратко обсуждается современная теория слабых взаимодействий. Сформулированы основные цели работы. Рассмотрена общая структура диссертации.

Глава I посвящена построению амплитуды РМЗ протоном (так называемой элементарной амплитуды).

В § I рассмотрены различные методы построения элементарной амплитуды: метод теории возмущений^{/3/}, метод низкоэнергетических теорем^{/4/} и метод, предложенный в работе^{/5/}. Последний опирается на свойства слабых нуклонных токов и гипотезу линейности, характеризующую динамическую структуру входящих в амплитуду РМЗ радиационных формфакторов. Метод работы^{/5/} и методы теории возмущений и низкоэнергетических теорем приводят к различным результатам. Указаны причины этого. Обсуждается вопрос о необходимости пересмотра выражения для элементарной амплитуды. Дается краткая характеристика предлагаемого в данной работе метода.

В § 2 излагается новый метод построения амплитуды. Рассмотрена связь процессов: РМЗ, безрадиационного μ -захвата и фоторождения пиона. Эта связь обусловлена соотношениями:

$$k_{\mu} J_{\mu\lambda} = \langle p' | J_{\lambda}(0) | p \rangle, \quad (1)$$

$$(k+q)_{\lambda} V_{\mu\lambda} = \langle p' | V_{\mu}(0) | p \rangle, \quad (2)$$

$$(k+q)_{\lambda} A_{\mu\lambda} = \langle p' | A_{\mu}(0) | p \rangle + D_{\mu}. \quad (3)$$

где $J_{\mu\lambda}$ - адронный матричный элемент, входящий в амплитуду РМЗ,

$$J_{\mu\lambda} = V_{\mu\lambda} + A_{\mu\lambda} = -i \int d^4x d^4y e^{-ikx} e^{i(k+q)y} \langle p' | T(j_{\mu}^{\text{el}}(x), J_{\lambda}(y)) | p \rangle, \quad (4)$$

$J_{\lambda}(0) = V_{\lambda}(0) + A_{\lambda}(0)$ - оператор слабого тока, D_{μ} - немассовое продолжение амплитуды фоторождения пиона, k - импульс фотона,

$$q = p' - p.$$

Связь РМЗ с фоторождением пиона вытекает из условия ЧСАТ. Далее тензор $J_{\mu\lambda}$ представляется в виде разложения по набору независимых лоренц-ковариантов. Подставляя в (1)-(3) это разложение, а также матричные элементы тока и вектора D_{μ} в явном виде, получаем систему функциональных уравнений для коэффициентов разложения $J_{\mu\lambda}$ - радиационных формфакторов. Чтобы ее решить, мы сделали предположение о динамической структуре радиационных формфакторов. Именно, в работе предполагалось, что основной вклад в амплитуду дадут нуклонные полюса (борновские члены), поэтому формфакторы F можно представить в виде

$$F(k, p', p) = \frac{r^+(k, p', p)}{pk} + \frac{r^-(k, p', p)}{p'k} + r(k, p', p), \quad (5)$$

где величины Γ выражаются через электромагнитные, слабые формфакторы нуклонов и их производные. В случае аксиальных формфакторов в разложение (5) следует добавить члены, отвечающие пионному полюсу. Решение системы уравнений значительно облегчится, если борновские члены r^+/pk , $r^-/p'k$ вычислить по теории возмущений.

В § 3 рассмотрен вопрос о выделении зависимых ковариантов в декартовом базисе для переходов $j_i = j_f = 1/2$ и $j_i = 0, j_f = 1$, где $j_i, (j_f)$ - спин начального (конечного) состояния нуклона или ядра. Этот вопрос важен для построения разложения тензора $J_{\mu\lambda}$ для случая РМЗ протоном и ядром углерода.

В § 4 приведено и проанализировано окончательное выражение для элементарной амплитуды РМЗ. Дано сравнение полученного выражения с результатами других работ^{/3-5/}.

В главе 2 разработанный метод использован для построения ядерной амплитуды. Проведен расчет спектра γ -квантов для РМЗ протоном, гелием и углеродом. Исследована чувствительность величины и формы спектра к величине нуклонных (ядерных) формфакторов.

В § I обсуждается подход к ядру как к элементарной частице. При этом ядро характеризуется спином и четностью. Информация о внутренней структуре ядра содержится в соответствующих слабых ядерных формфакторах. Эти формфакторы, в принципе, можно определять экспериментально из данных по β -распаду, μ -захвату и соответствующим электромагнитным переходам в ядрах. В случае, когда экспериментальной информации недостаточно, оставшиеся неопределенными формфакторы вычисляются с помощью импульсного приближения, в рамках конкретной ядерной модели.

Если рассматривать ядро как элементарную частицу, то мы по необходимости ограничиваемся исследованием переходов в состояние с определенным спином и четностью конечного ядра, т.е. парциальных переходов. Интегральную картину можно получить, просуммировав вклады доминирующих переходов (например, гигантских резонансов). Однако, с другой стороны, - и это более важно - многие характеристики РМЗ весьма чувствительны к значению спина и четности начального и конечного ядер. Поэтому для получения полезной информации, например о величине псевдоскалярного формфактора, желателен экспериментальное исследование именно парциальных переходов. В противном случае необходимо проводить трудоемкое построение полной функции ядерного отклика.

В § 2 рассмотрен РМЗ протоном и гелием. Получено выражение для спектра вылетающих γ -квантов. Результат для протона совпадает с результатом теории возмущений. Количественно исследована чувствительность спектра к величине псевдоскалярного формфактора нуклона.

Формфакторы гелия выбраны в согласии с^{/6/}. Результаты расчетов для γ -спектра в случае гелия сравниваются с результатами других работ, в частности с результатами, полученными в импульсном приближении^{/7/}. Показано, что имеет место расхождение результатов, и обсуждаются причины этого. В принципе, расхождение результатов, полу-

ченных в импульсном приближении и в подходе к ядру как к элементарной частице, может быть связано с проявлением обменных эффектов. Однако пока такое заключение сделать нельзя из-за неоднозначности в выборе ядерного псевдоскалярного формфактора и пион-ядерной вершины.

Рассмотрена зависимость γ -спектра от величины псевдоскалярного формфактора ядра. Показано, что при расчетах γ -спектра необходимо учитывать q^2 -зависимость слабых формфакторов.

В § 3 рассмотрен РМЗ на ^{12}C . Приведены выражения для слабых ядерных токов. Исходя из этих выражений построена амплитуда РМЗ. Коротко обсуждается неоднозначность в определении ядерных формфакторов. Приведены результаты расчетов фотонного спектра для двух наборов формфакторов^{/8,9/}. Дано сравнение с результатами, полученными в импульсном приближении (по аналогии с^{/10/}). Исследована чувствительность спектра к величине псевдоскалярного формфактора.

§ 4 посвящен вопросу о возможности определения массы мюонного нейтрино $m_{\nu\mu}$. Коротко изложено современное состояние проблемы. Показано, что высокоэнергетическая часть спектра γ -квантов (РМЗ ядром ^{12}C) чувствительна к величине $m_{\nu\mu}$. Однако эта же часть спектра сильно зависит от выбора псевдоскалярного формфактора F_p . Чтобы избежать связанной с этим неопределенности, рассмотрены характеристики, слабо зависящие от F_p . В качестве таковых рассмотрены относительный выход γ -квантов $N^{\gamma}(k) = N^{\gamma}(k)/I$ и функция $r(k) = \int_k^{k_{\max}} \tilde{N}^{\gamma}(k) dk$, где $I = \int_{k_{\max-\Delta}}^{k_{\max}} N^{\gamma}(k) dk$, $\Delta = 2 \text{ МэВ}$.

Важной характеристикой возможности практического исследования γ -спектра в РМЗ с целью определения массы нейтрино $m_{\nu\mu}$ является отношение вероятности испускания жестких γ -квантов к полной вероятности исчезновения мюона на $1s$ -орбите:

$$BR = I / (\Lambda_{dec} + \Lambda_{\mu}^{tot}) = 1.36 \cdot 10^{-10}$$

Однако эта величина сильно зависит от выбора ядерных формфакторов. Данная оценка получена для формфакторов работы^{/8/}.

В § 5 обсуждаются основные результаты, полученные при рассмотрении РМЗ с помощью данного метода.

Глава 3 посвящена рассмотрению процесса μ -e-конверсии на ядре¹⁶⁰.

В § I коротко обсуждается возможность того, что закон сохранения лептонных чисел не является точным. Если этот закон действительно нарушается, то могут существовать процессы типа $\mu \rightarrow e\gamma$, $\mu \rightarrow 3e$, $N(\mu, e)N^*$. Приведены современные экспериментальные ограничения на относительные вероятности этих процессов. В настоящей работе вычисляется относительная вероятность μ -e-конверсии ${}^0_0(\mu, e) {}^0_0^*$ с учетом возможных возбуждений ядра (так называемых неупругих пере-

ходов). До сих пор количественных оценок скорости неупругого перехода не было.

Для расчетов в качестве ядерной модели выбрана оболочечная модель, учитывающая корреляции 2 частицы - 2 дырки^{/1/}. В качестве лептонной модели рассмотрены модели со смешиванием нейтрино с тяжелыми нейтральными лептонами^{/14/}.

В § 2 вычисляются формфакторы одночастичного оператора нуклонного тока. Для этого рассмотрены диаграммы, дающие основной вклад в амплитуду, а именно, ящичные диаграммы и диаграммы с обменом Z -бозоном. В рамках импульсного приближения вычислена относительная вероятность μ - e -конверсии $B_{\mu e}$: при $M_W = 60$ ГэВ и $m = 1$ ГэВ, где M_W - масса векторного W -бозона, m - масса нейтрального лептона, и максимальном смешивании лептонов в левых дублетах $B_{\mu e} = 1.94 \cdot 10^{-11}$. Экспериментальное ограничение получено для ядра ^{32}S : $B_{\mu e}^{\text{exp}} < 0.7 \cdot 10^{-10} (\text{SIN})^{1/2}$. Чтобы перейти от теоретической оценки для ^{16}O к оценке для ^{32}S , необходимо ввести дополнительный множитель 1.5.

В § 3 приведены результаты числовых расчетов. Основной вклад в неупругий процесс дают переходы, соответствующие возбуждению дипольного и спин-дипольного изовекторного гигантского резонанса. Показано, что отношение вероятностей неупругого и упругого переходов составляет $\sim 13\%$, т.е. переходы с возбуждением ядра подавлены примерно в 2. раз (Z - заряд ядра). Такой вывод справедлив также и для других, более реалистических лептонных моделей. Это связано с тем, что скорости упругого и неупругого переходов обнаруживают примерно одинаковую зависимость от лептонной модели и ее параметров.

Приведены также результаты расчетов относительной вероятности упругого перехода, полученные в "кварковом" приближении^{/2/}. Эти результаты примерно в пять раз больше соответствующих результатов, полученных в импульсном приближении в рамках модели^{/1/}. Такое сравнение иллюстрирует сильную зависимость расчетов относительной вероятности от выбора приближения для вычисления ядерного матричного элемента.

В главе 4 рассмотрен атомный распад нейтрона в общем случае гамилтониана, включающего наряду с V - и A - S -, P - и T - варианты слабого взаимодействия. Вычислены относительные вероятности распада по различным поляризационным каналам. Вклад V - A -членов гамилтониана в спиновую конфигурацию, при которой спины протона и электрона одинаково направлены, сильно подавлен. Поэтому вероятность этой конфигурации W_1 очень чувствительна к возможному существованию примесей скалярного и тензорного варианта взаимодействия. Показано,

что измерение W_1 с точностью $\sim 10\%$ позволит на порядок улучшить верхний предел для отношения g_s/g_v , где g_s - константа скалярной связи, g_v - векторной. Современная оценка $g_s/g_v \sim 25\%/13/$. Чувствительность W_1 к величине константы тензорной связи еще выше, но существующий предел g_t/g_v составляет $\sim 10^{-2}/14/$, так что измерение W_1 с точностью 10% позволит лишь незначительно его снизить.

К псевдоскалярному механизму взаимодействия вероятность атомного распада не чувствительна. Это связано с тем, что его вклад пропорционален отношению скорости атомов v_A к скорости света c , в данном случае $v_A/c \sim 10^{-4}$.

Глава 5 - математическое дополнение, в котором построен аппарат релятивистских тензорных гармоник в случае двух переменных.

В § 1 коротко обсуждаются основные достоинства формализма тензорных гармоник и указаны работы, в которых были построены релятивистские тензорные гармоники в сферическом и спиральном базисах для случая одной переменной.

В § 2 введен набор единичных ортогональных четырехмерных векторов, по которым будут определяться проекции тензорных полей. Построен тензорный базис второго порядка и приведены условия ортогональности и закон преобразования при инверсии.

В § 3 построены сферические гармоники, зависящие от двух переменных. Их бесконечно много. В работе вводится понятие независимых гармоник, которые нельзя выразить как линейные комбинации друг друга со скалярными коэффициентами, и даются правила построения независимого набора.

В § 4 дано определение тензорных сферических гармоник второго порядка двух переменных в сферическом базисе и приведены их основные свойства. Получена формула для определения числа независимых тензорных гармоник двух переменных произвольного порядка.

В § 5 рассмотрено построение тензорных гармоник двух переменных в спиральном базисе.

В § 6 в качестве приложения показано, как выглядит разложение адронного матричного элемента $J_{\mu\lambda}$ амплитуды РМЗ по набору независимых релятивистских тензорных гармоник двух переменных.

В Заключении изложены основные результаты диссертации.

В Приложениях даны формулы, необходимые для анализа рассмотренных процессов.

В Приложении А приведен явный вид разложения тензора $J_{\mu\lambda}$ по набору независимых ковариантов, а также система уравнений для радиа-

ционных формфакторов, характеризующих амплитуду РМЗ для протона. Изложено подробное решение этой системы и получено выражение для радиационных формфакторов через слабые и электромагнитные формфакторы.

В Приложении Б приведен явный вид разложения тензора $J_{\mu\lambda}$ для ядра ^{12}C . Дана соответствующая система уравнений для радиационных формфакторов и решение этой системы.

В Приложении В приведены уравнения связи лоренц-ковариантов, построенных из четырехмерных векторов и γ -матриц Дирака в декартовом базисе.

В Приложении Г даны матричные элементы нуклонного тока и окончательное выражение для отношения скоростей неупругого и упругого переходов при μ - e -конверсии на ядре ^{16}O .

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В РАБОТЕ

В диссертации рассмотрены следующие редкие процессы: радиационный μ -захват протоном и ядрами (гелием и углеродом), μ - e -конверсия на кислороде, атомный распад нейтрона. Показано, что исследование этих процессов позволило бы

- повысить точность оценок примесей S -, T -вариантов в гамильтониане слабого взаимодействия;
- получить новую информацию о возможном несохранении лептонных чисел;
- получить информацию о массе мюонного нейтрино;
- определить величину слабых формфакторов нуклонов и ядер и проверить соотношение Гольдбергера-Треймана в ядрах.

1. Рассмотрен РМЗ протоном, ^3He , ^{12}C . На основе разработанного в диссертации метода получены выражения для амплитуды процесса на протоне (элементарной амплитуды) и ядерных амплитуд. При этом ядро рассматривалось как элементарная частица. Полученные выражения для амплитуд являются калибровочно-инвариантными, удовлетворяют условиям СВТ, ЧСАТ.

Исследована чувствительность величины и формы спектров вылетающих γ -квантов к величине нуклонного или ядерного псевдоскалярного формфактора.

Дано сравнение полученных результатов с результатами вычислений в импульсном приближении.

2. Показано, что высокоэнергетическая часть γ -спектра в РМЗ ядром ^{12}C чувствительна к величине массы мюонного нейтрино $m_{\nu\mu}$. Для различных значений $m_{\nu\mu}$ вычислены характеристики спектра, слабо зависящие от других параметров, кроме $m_{\nu\mu}$ (например, относительный выход γ -квантов).

3. Процесс μ - e -конверсии на ядре ^{16}O рассмотрен в рамках оболочечной ядерной модели $^{16}/6$. Показано, что вероятность процесса в основном определяется вероятностью упругого перехода. Вклад неупругих переходов составляет $\sim 13\%$, т.е. подавлен примерно в Z раз, где Z - заряд ядра.

Относительная вероятность $B_{\mu e}$ процесса при $M_W = 60$ ГэВ, $m = 1$ ГэВ (m - масса нейтрального лептона) и максимальном смешивании - порядка 10^{-11} . Показано, что расчеты, выполненные в "кварковом" приближении $^{2/}$, дают завышенные оценки относительной вероятности μ - e -конверсии по сравнению с расчетами в импульсном приближении в модели $^{1/}$.

4. Рассмотрен атомный распад нейтрона. Это распад, при котором протон и электрон образуют связанное состояние. Вероятность процесса вычислена с учетом S -, P -, T -вариантов слабого взаимодействия.

Показано, что вероятность распада для определенной конфигурации спинов конечных частиц является чувствительной к возможному скалярному и тензорному вариантам.

5. Определено число независимых ковариантов для разложения адронного матричного элемента в задаче $\alpha + b \rightarrow 1 + 2 + 3$ и получены соответствующие уравнения связи в декартовом базисе, позволяющие выделять зависимые коварианты. Построен аппарат релятивистских тензорных гармоник двух переменных в сферическом и спиральном базисах.

Результаты диссертации опубликованы в работах:

Гмитро М., Овчинникова А.А. Вероятность μ - e -конверсии в реакции $^{\mu} O(\mu, e)^0$ ЯФ, 1979, т. 30, с. 330.

Gmitro M., Ovchinnikova A.A. Elementary Particle treatment of the radiative muon capture. I. Method. Сообщ. ОИЯИ Е2-12639, Дубна, 1979.

Gmitro M., Ovchinnikova A.A. Elementary Particle treatment of the radiative muon capture. II. Boson-like targets ^{12}C and ^{16}O . Сообщение ОИЯИ Е2-12640, Дубна, 1979.

Gmitro M., Ovchinnikova A.A. Current divergencies, pion photoproduction and radiative pion capture. Nucl. Phys., 1981, v. A356, p. 323.

Gmitro M., Ovchinnikova A.A. Two variable relativistic tensor harmonics. Сообщение ОИЯИ Е2-12936, Дубна, 1979 (будет опубликовано в J. Math. Phys.).

Gmitro M., Ovchinnikova A.A. On construction of independent Lorentz-covariants for the reactions with three particles in the final state. Acta Phys. Slov., 1981, v. 31, p. 23.

Наменов Л.Л., Овчинникова А.А. Влияние скалярного и тензорного взаи-

модействия на атомный распад нейтрона $n \rightarrow H + \bar{\nu}_e$. ПФ, 1980, т. 31, с. 1276.

Л и т е р а т у р а

1. Eramzhyan R.A. et al. Towards a better understanding of ^{16}O nuclear structure. Muon capture and radiative pion capture reactions. Nucl. Phys., 1977, v. A290, p. 294.
2. Marciano W.J., Sanda A.I. Reaction $\mu^- + \text{Nucleus} \rightarrow e^- + \text{Nucleus}$ in Gauge Theories. Phys. Rev. Lett., 1977, v. 38, p. 1512.
3. Rood H.P.C., Tolhoek H.A. The Theory of Muon Capture by Complex Nuclei (III). Radiative Muon Capture. Nucl. Phys., 1965, v. 70, p. 658.
4. Adler S.L., Dothan Y. Low-Energy Theorem for the Weak Axial-Vector Vertex. Phys. Rev., 1966, v. 151, p. 1267. ERR: 1967, v. 164, p. 2062.
5. Hwang W.-Y.P., Primakoff H. Theory of Radiative Muon Capture with Applications to nuclear spin and isospin doublets. Phys. Rev., 1978, v. C18, p. 414.
6. Kim C.W., Primakoff H. Theory of Muon Capture with Initial and Final Nuclei Treated as "Elementary" Particles. Phys. Rev., 1965, v. 140, p. B566.
7. Klieb L., Rood H.P.C. Radiative muon capture in ^3He : A comparison of the impulse approximation with elementary particle calculations. Nucl. Phys., 1981, v. A356, p. 483.
8. Kim C.W. Application of CVC and PCAC in Nuclear Weak Interactions. Riv. del Nuovo Cim., 1974, v. 4, p. 189.
9. Hwang W.-Y.P., Primakoff H. Beta Decay and Muon Capture in the $A=12$ nuclei: Second class Currents and Conserved-vector Current. Phys. Rev., 1977, v. C16, p. 397.
10. Gmitro M. et al. Radiative Muon Capture on Nuclei Microscopic Calculation for ^{16}O and ^{40}Ca . Czech. J. Phys., 1981, v. B31, p. 499.
11. Bjorken J., Lane R., Weinberg S. Decay $\mu \rightarrow e \gamma$ in models with neutral heavy leptons. Phys. Rev., 1977, v. D16, p. 1474.
12. Badertscher A. SIN Newsletter 12 (Dec. 1979).
13. Hermansfelt W.B. et al. Electron-neutrino angular correlation in positron decay of ^{35}Ar . Phys. Rev., 1957, v. 107, p. 641.
14. Zweifel P.F. Capture-Positron Branching Ratios. Proc. Rehovoth Conf. on Nucl. Structure, ed. by Lipkin H.L. Amsterdam, 1967, p. 300.

Рукопись поступила в издательский отдел
19 октября 1981 года.