

Д-639

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

УДК 539.123

2-89-360

**ДОКУЧАЕВА**

**Валентина Александровна**

**ОДНОПЕТЛЕВЫЕ ЭЛЕКТРОСЛАБЫЕ ПОПРАВКИ  
В НЕЙТРИННЫХ РЕАКЦИЯХ**

**Специальность: 01.04.02 - теоретическая  
и математическая физика**

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

Дубна 1989

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований.

**Научный руководитель:**

кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник

Д. Ю. БАРДИН

**Официальные оппоненты:**

доктор физико-математических наук,  
старший научный сотрудник

В. А. ЦАРЕВ

доктор физико-математических наук,  
профессор

Н. М. ШУМЕЙКО

Ведущее научно-исследовательское учреждение:  
Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва.

Автореферат разослан " " \_\_\_\_\_ 1989 года.

Защита диссертации состоится " " \_\_\_\_\_ 1989 года на заседании Специализированного совета № 047.01.01 Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Объединенного института ядерных исследований.

Ученый секретарь Совета

кандидат физико-математических наук

А. Б. ДОРОХОВ

**ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

Актуальность темы. Интерес к проблеме проверки единой теории электромагнитных и слабых взаимодействий (ЭСВ) Глэшоу-Салама-Вайнберга (ГСВ), основанной на спонтанно-нарушенной группе  $SU(2)_L \otimes U(1)$ , не ослабевает с конца семидесятых годов. За это время теория ЭСВ сумела успешно описать все электрослабые взаимодействия лептонов, калибровочных бозонов и кварков. В 1983 г. теория ГСВ получила важнейшее экспериментальное подтверждение: были открыты промежуточные  $W^-$  и  $Z^0$ -бозоны, причем их свойства оказались в полном соответствии с предсказаниями теории.

В теории ЭСВ в полной аналогии с КЭД все наблюдаемое можно выразить через одну константу связи  $g$  и массы всех частиц, вовлеченных в теорию. В этом смысле теория ЭСВ действительно выглядит как расширенная КЭД, в рамках которой с учетом квантовых эффектов (петлевых поправок) можно сколь угодно точно вычислить наблюдаемые величины. Экспериментальная проверка таких вычислений является важнейшим тестом теории, обнаружение квантовых поправок в согласии с теоретическими предсказаниями окончательно утвердит статус теории ЭСВ как расширенной КЭД.

Не вызывает сомнения, что теория ЭСВ является низкоэнергетическим пределом более общей теории. Повышенный интерес теоретиков и экспериментаторов к рассматриваемой проблеме объясняется также надеждой на то, что постановка все более точных экспериментов в достигнутой области энергий позволит обнаружить новую физику косвенно по небольшим отклонениям измеренных величин от предсказаний стандартной теории.

Теоретические и экспериментальные исследования нейтринных реакций вносят весомый вклад в прецизионную проверку ГСВ-теории. В 1986 году появились результаты прецизионных измерений параметра теории  $\sin^2 \theta_w$  в полулептонных нейтринных реакциях в экспериментах ЦЕРНа (CDHS и SCHARM) и ФНАЛа (FMMF и SCFRR). Результаты измерений находятся в хорошем согласии друг с другом. Отметим, что использовались разные экспериментальные методы. Среднее значение параметра ГСВ-теории, извлеченного этими группами из реакций глубоконеупругого рассеяния нейтрино для  $m_c = 1.5 \text{ ГэВ}/c^2$ , таково:

$$\sin^2 \theta_w = 0.233 \pm 0.004 \text{ (эксп.)} \pm 0.003 \text{ (теор.)} \quad (I)$$

Летом 1986 г. в ЦЕРНе начался набор данных в эксперименте SCHARM-II, основная цель которого - измерить с высокой точностью сечения чисто лептонных (свободных от теоретических неопределенностей) процессов упругого  $\nu_\mu (\bar{\nu}_\mu) e$ -рассеяния и обратного  $\mu$ -распада. Предполагается зарегистрировать по 2000 событий упругого  $\nu_\mu e$ - и  $\bar{\nu}_\mu e$ -рассеяния и





около 10000 событий обратного  $\mu$ -распада. Из соотношений

$$R = \sigma(\nu_{\mu} e \rightarrow \nu_{\mu} e) / \sigma(\bar{\nu}_{\mu} e \rightarrow \bar{\nu}_{\mu} e) \quad (2)$$

и

$$\tilde{R} = \sigma(\nu_{\mu} e \rightarrow \nu_{\mu} e) / \sigma(\nu_{\mu} e \rightarrow \mu^{-} \nu_e) \quad (3)$$

на такой статистике можно получить следующую точность (чисто статистическую) в определении параметров теории ЭСВ:

$$\text{в } \sin^2 \theta_w \text{ из (2)} \quad - \quad \Delta \sin^2 \theta_w \approx \frac{1}{8} \frac{\Delta R}{R} \approx 0.003, \quad (4)$$

$$\text{в } \rho \text{ из (3)} \quad - \quad \frac{\Delta \rho}{\rho} \approx \frac{1}{2} \frac{\Delta \tilde{R}}{\tilde{R}} \approx 0.010. \quad (5)$$

Около 1000 событий упругого  $\nu_{\mu} e$ -рассеяния уже набрано.

Основной целью настоящей работы является вычисление единым образом однопетлевых электрослабых поправок к сечениям глубоконеупругих и упругих нейтринных реакций применительно к современным и будущим прецизионным нейтринным экспериментам.

Научная новизна и практическая ценность. В диссертации в рамках теории ГСВ и кварк-партонной модели сильных взаимодействий в схеме перенормировок Сирлина впервые получен единый набор формул для дважды дифференциальных сечений глубоконеупругого рассеяния нейтрино в каналах заряженного (СС) и нейтрального (НС) токов с учетом электрослабых радиационных поправок (ЭСРП). Показано, что учет ЭСРП при анализе данных глубоконеупругих реакций по R-отношению приводит к уменьшению параметра  $\sin^2 \theta_w$  на величину порядка 5%. Исследован сдвиг  $\Delta \sin^2 \theta_w$  как функция массы  $t$ -кварка  $m_t$ . Разработанная программа вычисления поправок была применена к анализу данных черновских экспериментов SDHS [1] и SCHARM [2]. Очевидно, что с незначительной модификацией результаты исследования полупетлевых реакций, полученные в диссертации, могут быть применены и для анализа данных начавшихся в этом году экспериментов на "Нейтринном детекторе" и "Комплексе меченых нейтрино" ИФВЭ - ОИЯИ на ускорителе У-70 и планируемых экспериментов на УНК в ИФВЭ.

С учетом однопетлевых электрослабых поправок вычислены дифференциальные сечения процессов упругого  $\nu(\bar{\nu})e$ -рассеяния при  $E_{\nu} \leq \leq 1000$  ГэВ. Все расчеты впервые проведены с удержанием  $m_t$ . Эти результаты были использованы впоследствии авторами работы [3] для удобной формулировки ЭСРП на языке эффективных параметров амплитуд нейтринных реакций. Отмечено, что для детекторов калориметрического типа экспериментально наблюдаемой переменной является не энергия элек-

трона  $E_e$  (или  $y = E_e/E_{\nu}$ ), а электромагнитное энерговыделение  $E_e + E_{\gamma}$  (или  $\bar{y} = (E_e + E_{\gamma})/E_{\nu}$ ). Показано, что радиационная поправка  $\delta(E_{\nu}, \bar{y})$  мала ( $\leq 3\%$ ) и слабо зависит от  $\bar{y}$  в отличие от большой ( $\sim 8-10\%$ ) и сильно зависящей от  $y$  поправки  $\delta(E_{\nu}, y)$ .

Предложена новая процедура расчета вклада реальных фотонов в радиационную поправку, учитывающая экспериментальные условия. На примере ситуации, ожидаемой для "Нейтринного детектора" ИФВЭ - ОИЯИ, показано, что учет влияния экспериментальных критериев отбора увеличивает численное значение ЭСРП на 2-3%.

Впервые вычислен энергетический спектр мюнов в процессе обратного  $\mu$ -распада с точностью до однопетлевых электрослабых поправок, без пренебрежения массой мюна и с учетом порога регистрации фотонов внутреннего тормозного излучения. Найдено, что в условиях эксперимента SCHARM-II суммарная поправка к полному сечению обратного  $\mu$ -распада составляет  $\sim 4\%$ , поэтому ее учет необходим. Созданные программы для ЭВМ, реализующие результаты исследования процессов упругого рассеяния высокоэнергетических мюнных нейтрино электронами и обратного  $\mu$ -распада, используются коллаборацией SCHARM-II при анализе данных в настоящее время.

Процесс упругого  $\bar{\nu}_e e$ -рассеяния доступен для исследования не только на ускорителях, но и с антинейтрино от реактора. В диссертации вычислены радиационные поправки к полному и дифференциальному по электромагнитному выделению энергии сечениям упругого рассеяния реакторных антинейтрино электронами. В отличие от существующих в литературе результатов представленные в диссертации формулы выводятся без использования ультрарелятивистского приближения, что дает возможность их применения для широкого интервала энергий падающих антинейтрино  $1 \text{ кэВ} \leq E_{\bar{\nu}} \leq 1 \text{ ТэВ}$ , в частности, для экспериментов на АЭС.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 7 работ.

Апробация работы. Результаты, полученные в диссертации, докладывались и обсуждались на семинарах Лаборатории теоретической физики и Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ (Дубна), на совещаниях по программе нейтринных исследований в ИФВЭ (Протвино). Результаты для процессов глубоконеупругого рассеяния нейтрино нуклонами уже применялись коллаборациями SDHS [1] и SCHARM [2] при обработке соответствующих экспериментальных данных, а результаты исследования процессов упругого  $\nu_{\mu} e$ -рассеяния и обратного  $\mu$ -распада используются коллаборацией SCHARM-II при анализе данных в настоящее время.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав основного текста, заключения и 2 приложений. Текст диссертации изложен на 124 страницах, включая 15 рисунков и 10 таблиц. Библиографический список литературы содержит 93 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении дается краткий обзор результатов прецизионных измерений параметров ГСВ-теории из нейтринных реакций, проводится обзор литературы, касающейся рассматриваемых в диссертации вопросов. Обсуждается актуальность темы, кратко излагаются основные цели работы и ее содержание.

В главе I диссертации в рамках ГСВ-теории и кварк-партонной модели сильных взаимодействий выводятся выражения для дважды дифференциального  $d^2\sigma/dx dy$  ( $x$  и  $y$  - скейлинговые переменные), однократного  $d\sigma/dy$  и полного сечений  $CC$ - и  $NC$ -глубокоупругого рассеяния (анти)нейтрино нуклонами. В § I даны основные положения схемы перенормировок Сирлина, в которой проводятся все вычисления. Независимыми параметрами являются постоянная тонкой структуры  $d_{em} = 1/137$  и массы всех частиц, вовлеченных в теорию. Параметр теории  $\sin^2\theta_w = 1 - M_w^2/M_z^2$  выражается в этой схеме через физические массы  $M_w$  и  $M_z$ , т.е. не является независимым.

Параграфы 2 и 3 посвящены расчету сечения  $CC$ -глубокоупругого рассеяния нейтрино нуклонами в однопетлевом приближении. Вычисления проводим, пренебрегая массами всех фермионов по сравнению с кинематическими инвариантами  $S$ ,  $t$ ,  $u$ . Прямым счетом обнаружена независимость  $d^2\sigma/dx dy$  от массы конечного кварка  $m_f$ , что находится в согласии с теоремой Киношита-Ли-Науэнберга. Сечения  $d^2\sigma/dx dy$  и  $d\sigma/dy$  зависят лишь от массы лептона  $m_l$  и массы начального кварка  $m_i$ . В выражение для полного сечения входит лишь  $m_i$ . В этих же параграфах обсуждается модельная зависимость получаемых результатов. В §4 приведен список формул для  $NC$ -глубокоупругого рассеяния, полученный в полной аналогии с предыдущим параграфом. В §5 найдена поправка  $\Delta\sin^2\theta_w$ , которую необходимо внести при анализе данных по  $R$ -отношению ( $R = \sigma_{NC}^v / \sigma_{CC}^v$ ) в зависимости от величины  $m_t$ . Обнаружено, что сдвиг  $\Delta\sin^2\theta_w$  в широком интервале  $30 \text{ ГэВ} \leq m_t \leq 240 \text{ ГэВ}$  практически не зависит от  $m_t$  и может привести к уменьшению параметра  $\sin^2\theta_w$  на величину порядка 5%. §6 посвящен обсуждению полученных выражений, демонстрируется их высокая надежность.

В главе II вычисляются ЭРП к дифференциальным по переменным  $y$  и  $\bar{y}$  сечениям реакций упругого рассеяния высокоэнергетических нейтрино электронами. Все расчеты выполнены с удержанием  $m_t$ . В §I обосновывается необходимость для экспериментов с электромагнитными калориметрами вычисления дифференциального сечения  $\nu_e e$ -рассеяния по переменной  $\bar{y}$ . Параграфы 2 и 3 посвящены подробному вычислению в однопетлевом приближении дифференциальных сечений  $d\sigma/d\bar{y}$  и  $d\sigma/dy$  при

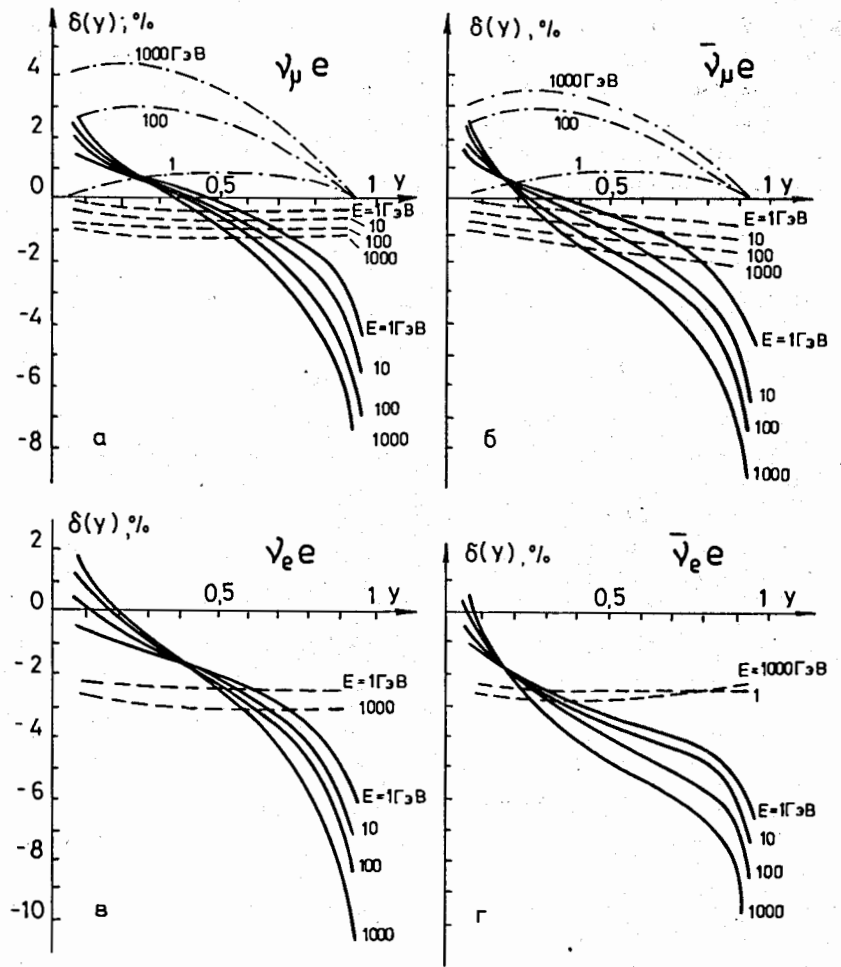


Рис. I. Радиационные поправки  $\delta^{ie}$  в переменных  $y$  (сплошные кривые) и  $\bar{y}$  (штриховые кривые) для упругого  $\nu_\mu e^-$ ,  $\bar{\nu}_\mu e^-$ ,  $\nu_e e^-$  и  $\bar{\nu}_e e^-$  - рассеяния и поправки  $\delta^{\sigma^{\text{tot}}}$  (штрихпунктирные кривые) для  $\nu_\mu e^-$  и  $\bar{\nu}_\mu e^-$  - рассеяния при различных  $E_\nu$ .

$E_\nu \leq 1000$  ГэВ. В §4 предложена процедура расчета вклада реальных фотонов в радиационную поправку, учитывающая экспериментальные условия. По методу Монте-Карло вычислена вероятность наблюдения реальных фотонов. Полная поправка получается вычитанием сечения, отвечающего дискриминированным событиям с явно наблюдаемым тормозным фотоном из сечения, рассчитанного для идеализированной ситуации, отвечающей случаю полной ненаблюдаемости фотонов. В §5 найдены численные величины однопетлевых поправок в переменных  $\bar{y}$  и  $y$

$$\delta^{le}(E_\nu, \bar{y}) = \left( \frac{d\sigma_{\nu e}^{le}/d\bar{y}}{d\sigma_{\nu e}^0/d\bar{y}} - 1 \right) \cdot 100\% \quad (6)$$

и поправка, связанная с учетом экспериментальных условий:

$$\delta^{br}(E_\nu, \bar{y}) = \frac{\int dz \int d\Omega_p \frac{d\sigma^{br}}{d\bar{y} dz d\Omega_p}}{d\sigma^0/d\bar{y}} \cdot 100\% \quad (7)$$

Полная поправка с учетом (7) отрицательна и равна по модулю расстоянию между соответствующими кривыми  $\delta^{le}(E_\nu, \bar{y})$  и  $\delta^{br}(E_\nu, \bar{y})$  на рис. 1. В этом же параграфе установлено, что при  $\sin^2 \theta_w = 0.20 \pm 0.23$  величина КЭД радиационных поправок  $\delta R$  к отношению  $R = \sigma_{\nu e} / \sigma_{\bar{\nu} e}$  порядка  $0.1 \pm 0.6\%$ , что меньше точности измерения  $\Delta R \approx 5\%$  в выполненных и проводимых экспериментах. §6 посвящен обсуждению надежности полученных результатов, там же сформулированы основные выводы данной главы.

В главе III диссертации вычисляются однопетлевые электрослабые поправки к полному и дифференциальному по  $\bar{y}$  сечениям упругого  $\bar{\nu} e$  - рассеяния при реакторных энергиях антинейтрино.

В § I отмечается, что в отличие от существующих в литературе результатов все формулы данной главы выводятся без использования ультрарелятивистского приближения, что позволяет использовать их вплоть до очень низких энергий начального антинейтрино. Расчеты весьма трудоемки и выполняются с использованием системы аналитических вычислений на ЭВМ SNOONSNIP. Параграфы 2-4 посвящены непосредственно вычислению дифференциального  $d\sigma/d\bar{y}$  и полного  $\sigma$  сечений, при этом демонстрируется высокая эффективность системы аналитических вычислений SNOONSNIP для решения такого типа задач. Так как промежуточные и окончательные выражения весьма громоздки, большое значение приобретает проверка результатов. Параграф 5 посвящен системе таких проверок. В этом же параграфе приведены численные значения ЭСРП к полному и дифференциальному сечениям процесса. Из рис. 2 видно, что однопетлевая электрослабая поправка  $\delta^+(E_\nu)$ , вычисленная по точным формулам,

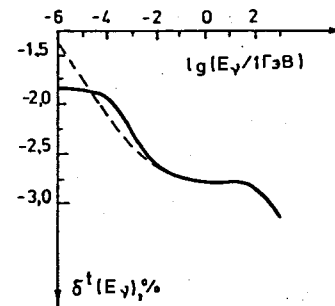


Рис. 2.

Однопетлевая электрослабая поправка  $\delta^+(E_\nu)$ , вычисленная по точным (сплошная кривая) и по ультрарелятивистским формулам (штриховая кривая).

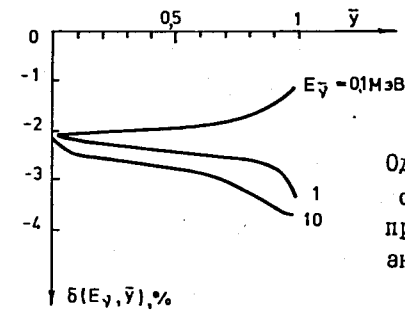


Рис. 3.

Однопетлевая электрослабая поправка  $\delta(E_\nu, \bar{y})$  как функция переменной  $\bar{y}$  при трех значениях энергии падающего антинейтрино.

невелика, но для низких  $E_\nu$  сильно отличается от поправки, вычисленной по ультрарелятивистским формулам. На рис. 3 приведены однопетлевые электрослабые поправки  $\delta(E_\nu, \bar{y})$  как функции переменной  $\bar{y}$  при трех значениях энергии начального антинейтрино ( $E_\nu = 0.1; 1.0; 10$  МэВ).

В главе IV диссертации вычисляется энергетический спектр мюонов в процессе обратного  $\mu$  -распада. В §I отмечается, что в условиях эксперимента SNARM-II все вычисления необходимо проводить, не пренебрегая массой мюона и с учетом порога регистрации фотонов внутреннего тормозного излучения. Параграф 2 посвящен нахождению аналитического выражения для энергетического спектра  $d\sigma_{all}^{le}/dy$  ( $d\sigma_{all}^{le}$  - дифференциальное сечение, отвечающее инклюзивной постановке эксперимента,  $y = E_\mu/E_\nu$ ). В §3 получено аналитическое выражение для энергетического спектра  $d\sigma_{brem}/dy|_{\omega > \bar{\omega}}$ , отвечающее вкладу дискриминированных событий внутреннего тормозного излучения ( $\omega = E_\gamma/E_\nu$ ):

$$\frac{d\sigma_{brem}}{dy} = \int_0^{\omega_{max}} \frac{d^2\sigma_{brem}}{dy d\omega} \mathcal{E}(E_\gamma) d\omega \quad (8)$$

Вид функции  $\mathcal{E}(E_\gamma)$ , задающей эффективность регистрации тормозных фотонов детектором, зависит от конкретной экспериментальной установки. В качестве примера рассмотрен простейший случай, когда

$$\xi(E_r) = \begin{cases} 1 & \text{при } E_r > \bar{E}_r \\ 0 & \text{при } E_r < \bar{E}_r \end{cases} \quad (9)$$

Параграф 4 посвящен анализу результатов численного счета и выводам.

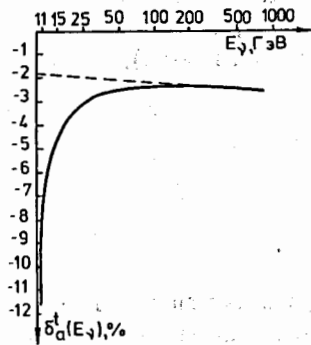


Рис. 4. Радиационная поправка  $\delta_a^t(E_\nu)$ , вычисленная по точным (сплошная кривая) и ультрарелятивистским (штриховая кривая) формулам.

На рис. 4 изображена поправка

$$\delta_a^t(E_\nu) = \left( \frac{\delta_{all}^{it}}{\delta^0} - 1 \right) \cdot 100\%, \quad (10)$$

вычисленная по точным (сплошная линия) и ультрарелятивистским (пунктирная линия) формулам в широком диапазоне энергий падающего нейтрино (от порога регистрации  $E_\nu = 10.9$  ГэВ до  $E_\nu = 1$  ТэВ). Из этого рисунка видно, что вплоть до  $E_\nu = 100$  ГэВ имеется существенное различие поправок, полученных по точным и по приближенным формулам. В районе максимума черновского нейтринного пучка широкого спектра (WBB)  $E_\nu^m = 15$  ГэВ поправки различаются почти в 3 раза. На рис. 5 показана

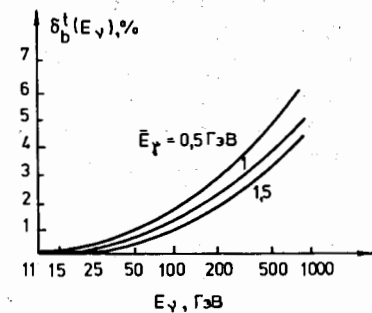


Рис. 5. Поправка  $\delta_b^t(E_\nu)$ , вычисленная при различных  $\bar{E}_\gamma$ .

поправка

$$\delta_b^t(E_\nu) = \frac{\delta_{brem}}{\delta^0} \cdot 100\% \quad (11)$$

при трех значениях параметра  $\bar{E}_\gamma = 0.5; 1.0; 1.5$  ГэВ. В этом же параграфе получены поправки, усредненные по спектру WBB:

$$\begin{aligned} \langle \delta_a^t(E_\nu) \rangle &= -2.7\% \\ \langle \delta_b^t(E_\nu) \rangle &= 1.0\% \text{ при } \bar{E}_\gamma = 0.5 \text{ ГэВ.} \end{aligned} \quad (12)$$

Обнаружено, что в условиях эксперимента CHARM-II суммарная поправка к сечению (-3.7%) превышает ожидаемые ошибки в измерении полного сечения  $\sigma$  ( $\Delta\sigma/\sigma = 2\%$ ) и величины  $\rho$  ( $\Delta\rho/\rho = 1\%$ ), что обуславливает необходимость их тщательного расчета и учета.

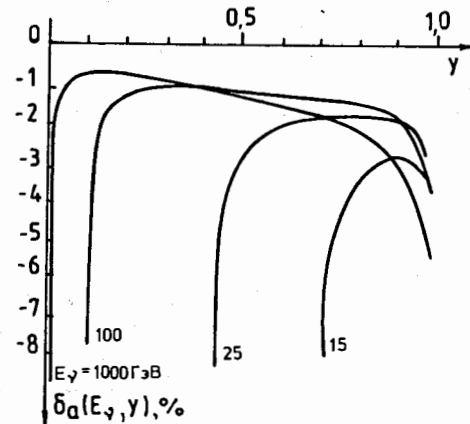


Рис. 6. Радиационные поправки  $\delta_a^it(E_\nu, y)$ , вычисленные как функции переменной  $y$  при различных значениях  $E_\nu$ .

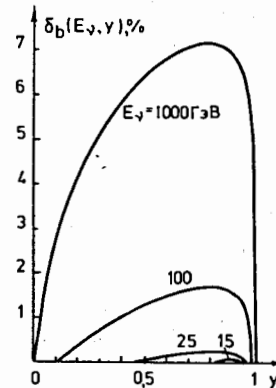


Рис. 7. Поправки  $\delta_b(E_\nu, y)$ , вычисленные как функции переменной  $y$  при различных значениях  $E_\nu$  и  $\bar{E}_\gamma = 1$  ГэВ.

На рис. 6 и рис. 7 показаны поправки

$$\delta_a^{le}(E_\nu, y) = \left( \frac{d\sigma_{all}^{le}/dy}{d\sigma^b/dy} - 1 \right) \cdot 100\% \quad (I3)$$

и

$$\delta_b(E_\nu, y) = \frac{d\sigma_{brem}/dy}{d\sigma^b/dy} \cdot 100\% \quad (I4)$$

( $\bar{E}_\nu = 1$  ГэВ) при четырех значениях энергии падающего нейтрино  $E_\nu = 15; 25; 100$  и  $1000$  ГэВ. Для учета вклада высших порядков теории возмущений в инфракрасной области проведена процедура экспонирования, в результате чего дифференциальное  $y$ -распределение

$$\frac{d\sigma}{dy} \sim [e^{\delta_a^{le}(E_\nu, y)} - \delta_b(E_\nu, y)] \quad (I5)$$

из плоского в Борновском приближении становится колоколообразным, обнуляющемся на кинематических границах  $y = y_{min, max}$ .

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертации.

В приложениях А и В приведены расчеты некоторых интегралов.

Основные результаты, полученные в диссертации:

1. В рамках ГСВ-теории и кварк-партонной модели сильного взаимодействия и в схеме перенормировок Сирлина впервые получен единый набор формул для дважды дифференциальных сечений глубокоупругого рассеяния нейтрино нуклонами в каналах заряженного и нейтрального токов с учетом радиационных поправок. Получены также формулы для однократно-го  $d\sigma/dy$  и полного сечений этих реакций.

2. С учетом вычисленных радиационных поправок получено уточненное экспериментальное значение параметра теории  $\sin^2\theta_w$ . Показано, что учет РП при анализе данных по  $R$ -отношению может привести к уменьшению  $\sin^2\theta_w$  на величину порядка 5%.

3. Исследован сдвиг  $\Delta \sin^2\theta_w$  за счет радиационных поправок как функция массы  $t$ -кварка  $m_t$ . Обнаружено, что  $\Delta \sin^2\theta_w$  в широком интервале  $m_t$  практически не зависит от  $m_t$ .

4. Вычислены дифференциальные по переменным  $y$  и  $\bar{y}$  сечения процессов упругого рассеяния высокоэнергетических (анти) нейтрино электронами с учетом однопетлевых электрослабых поправок. Расчеты, в отличие от имевшихся в литературе, проведены с удержанием  $m_t$ . Показано, что при энергии падающего нейтрино  $E_\nu \leq 1000$  ГэВ радиационная поправка  $\delta(E_\nu, \bar{y})$  мала ( $\leq 3\%$ ) и слабо зависит от  $\bar{y}$  в отличие от большой ( $\sim 8-10\%$ ) и сильно зависящей от  $y$  поправки  $\delta(E_\nu, y)$ . От-

мечается, что для детекторов калориметрического типа экспериментально наблюдаемой переменной является  $\bar{y}$ , а не  $y$ .

5. Показано, что при  $\sin^2\theta_w = 0.20 \pm 0.23$  и малых  $m_t$  величина радиационных поправок к  $R$ -отношению меньше точности измерений  $\Delta R$  в выполненных и проводимых экспериментах, но сильно увеличивается с ростом  $m_t$  и при  $m_t = 90$  ГэВ уже сравнивается с экспериментальной ошибкой.

6. Изучено влияние экспериментальных критериев отбора упругих событий  $\nu_\mu(\bar{\nu}_\mu)e$  - рассеяния на величину радиационной поправки. Предложена новая процедура расчета вклада реальных фотонов в радиационную поправку к сечениям  $\nu(\bar{\nu})e$  -рассеяния, учитывающая экспериментальные условия. На примере ситуации, ожидаемой для "Нейтринного детектора" ОИЯИ - ИФВЭ, показано, что учет влияния экспериментальных критериев отбора увеличивает численное значение РП к сечению  $\nu_\mu(\bar{\nu}_\mu)e$  - рассеяния на 2-3%.

7. Получены формулы для дифференциального по  $\bar{y}$  и полного сечений процессов упругого  $\bar{\nu}_e e$  -рассеяния, справедливые в интервале энергий падающего антинейтрино  $1 \text{ кэВ} \leq E_\nu \leq 1 \text{ ТэВ}$ . Показано, что электрослабые поправки для экспериментов на реакторах не превышают  $-2\% - 3\%$ , тем не менее, их учет для современных экспериментов необходим.

8. Вычислен с точностью до однопетлевых электрослабых поправок без пренебрежения массой мюона и с учетом порога регистрации фотонов внутреннего тормозного излучения энергетический спектр мюонов в процессе обратного  $\mu$ -распада.

9. Найдено, что в условиях эксперимента SCHARM-II суммарная поправка к полному сечению составляет  $-4\%$ . Показано, что неучет РП при обработке экспериментальных данных SCHARM-II приведет, например, в определении  $\rho$ , к систематической ошибке, равной или даже превышающей статистическую ошибку измерения  $\rho$ .

Результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Д.Ю.Бардин, В.А.Докучаева. О радиационных поправках к процессу  $\nu N \rightarrow \nu X$ . ЯФ, 1982, т. 36, вып. 2(8), с. 482-486. (Препринт ОИЯИ P2-8I-552, Дубна, 1981).
2. Д.Ю.Бардин, В.А.Докучаева. Об однопетлевых электрослабых поправках к сечениям процессов  $\nu_\mu(\bar{\nu}_\mu)e$  -рассеяния. ЯФ, 1984, т. 39, вып. 4, с. 888-894. (Препринт ОИЯИ P2-83-438, Дубна, 1983).
3. D.Yu.Bardin, V.A.Dokuchaeva. On one-loop electroweak corrections to neutrino-electron elastic scattering. Nucl. Phys. B, 1984, v. 246, p. 221-230.

- (Об однопетлевых электрослабых поправках к упругому рассеянию нейтрино на электронах. Препринт ОИЯИ Р2-83-818, Дубна, 1983).
4. Д.Ю.Бардин, В.А.Докучаева. Точное вычисление однопетлевых электрослабых поправок к упругому  $\bar{\nu}_e e$ -рассеянию при низких энергиях. ЯФ, 1986, т. 43, вып. 6, с. 1513-1524. (Препринт ОИЯИ Р2-85-387, Дубна, 1985).
  5. Д.Ю.Бардин, В.А.Докучаева. О радиационных поправках к глубоконеупругому рассеянию нейтрино. В сборнике: "Нейтринный детектор ИФВЭ - ОИЯИ", ОИЯИ, 1986, Р1,2,13-86-508, Дубна, с. 131-145.
  6. D.Yu.Bardin, V.A.Dokuchaeva. On the radiative corrections to the neutrino deep inelastic scattering. Сообщение ОИЯИ Е2-86-260, Дубна, 1986. (О радиационных поправках к глубоконеупругому рассеянию нейтрино).
  7. D.Yu.Bardin, V.A.Dokuchaeva. Muon energy spectrum in inverse  $\mu$ -decay. Nucl. Phys. B, 1987, v. 287, p. 839-851. (Энергетический спектр мюонов в процессе обратного  $\mu$ -распада. Препринт ОИЯИ Е2-86-280, Дубна, 1986).

#### Л и т е р а т у р а

1. Abramowicz H. et al. Phys. Rev. Lett., 1986, v. 57, p. 298-301.
2. Allaby J.V. et al. Phys. Lett., 1986, v. 177B, p. 446-452.
3. Д.Ю.Бардин, П.Х.Христова. В материалах УШ Рабочего совещания по "Нейтринному детектору" ИФВЭ - ОИЯИ, Д1,2,13-88-90, Дубна, 1988, с. 129-134.

Рукопись поступила в издательский отдел  
22 мая 1989 года.