

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

P2-84-815

**А.А.Ахундов*, Д.Ю.Бардин, Г.В.Мицельмахер,
А.Г.Ольшевский**

**ОБ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОПРАВКАХ
К ПОЛЯРИЗУЕМОСТЯМ ЗАРЯЖЕННОГО ПИОНА**

Направлено в журнал "Ядерная физика"

* Институт физики АН АзССР, Баку

1984

1. При изучении на опыте реакции радиационного рассеяния пионов на ядрах



при энергии 40 ГэВ был обнаружен комптон-эффект на π -мезоне ^{/1,2/} и измерена константа поляризуемости заряженного пиона ^{/3/} *:

$$\alpha_{\pi} = -\beta_{\pi} = /6,8 \pm 1,4/ \cdot 10^{-43} \text{ см}^3. \quad /2/$$

Процесс /1/ исследовался при малых переданных ядру импульсах $t \leq 6 \cdot 10^{-4} / \text{ГэВ} / \text{с} / ^2$. В этом случае π -мезон рассеивается преимущественно в кулоновском поле ядра, и в борновском приближении реакция /1/ описывается диаграммами рис.1. Диаграммы 1-3 отвечают радиационному рассеянию пионов как точечных объектов, а диаграмма 4 - вкладу структурных эффектов при двухфотонном взаимодействии адрона - поляризуемостей π -мезона. С учетом поляризуемостей сечение радиационного рассеяния /1/ можно записать следующим образом:

$$d\sigma = d\sigma_0 - (\alpha_{\pi} + \beta_{\pi}) \cdot d\sigma_{\text{ЭМ}} + \beta_{\pi} \cdot d\sigma_{\text{М}}, \quad /3/$$

где $d\sigma_0$ отвечает рассеянию точечного π -мезона, а остальные слагаемые - вкладам суммы электрической и магнитной поляризуемостей и магнитной поляризуемости заряженного пиона. Как было показано в ^{/4/}, при извлечении константы поляризуемости из экспериментальных данных необходимо учитывать электромагнитные поправки /ЗП/ к борновскому сечению $d\sigma_0$. При анализе данных в ^{/3/},

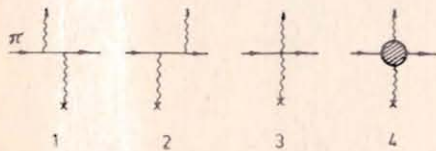


Рис.1. Диаграммы радиационного рассеяния пиона в кулоновском поле ядра в порядке α^3 .

* Здесь и далее значения поляризуемостей приведены в системе Гаусса $e^2 = 1/137$.

т.е. при получении результата /2/, использовалось теоретическое предположение /5/, что $a_\pi = -\beta_\pi$.

Интересным является вопрос раздельного измерения электрической и магнитной поляризуемостей π -мезона. Экспериментальная оценка суммы поляризуемостей $a_\pi + \beta_\pi$ была получена в /6/. Результат /6/

$$a_\pi + \beta_\pi = /1,4 \pm 3,1/ \cdot 10^{-43} \text{ см}^3 \quad /4/$$

согласуется с теоретическими предсказаниями, но из-за большой ошибки не чувствителен к моделям, в которых для $a_\pi + \beta_\pi$ получается /7/

$$a_\pi + \beta_\pi = /0,1 \pm 1,0/ \cdot 10^{-43} \text{ см}^3. \quad /5/$$

Возможность раздельного измерения a_π и β_π с лучшей точностью обсуждалась в /8/. Авторами /8/ найдены кинематические области и переменные, удобные для раздельного измерения a_π и β_π /точнее β_π и $(a_\pi + \beta_\pi)$ /. Целью настоящей работы является расчет ЭП к процессу радиационного рассеяния π -мезонов в кулоновском поле ядер, отвечающих условиям эксперимента /6/, и интерпретация полученных результатов в терминах электрической и магнитной поляризуемостей пиона. В работе также исправлены некоторые неточности, допущенные в работах /4,9/.

2. Процедура расчета ЭП к процессу /1/ подробно изложена в /4/. Эта процедура позволяет последовательно учесть тождественность регистрируемого и дополнительного фотонов, а также конечные разрешения γ -детектора по энергии и углу разлета фотонов. Формулы для ЭП к инклюзивному спектру рассеяния точечной бесспиновой частицы на кулоновском центре с излучением жесткого фотона получены в /9/ /см. также Приложение/. На основе этих формул была создана программа для ЭВМ, которая учитывает условия отбора событий процесса /1/ на опыте и геометрию установки /1-3,6/*.

Результаты вычислений ЭП к сечению радиационного рассеяния π -мезонов на ядрах углерода при энергии 40 ГэВ, отвечающие условиям эксперимента /2,6/, приведены на рис.2. Здесь

$$\delta(\omega) = \frac{d\sigma}{d\omega} / \frac{d\sigma_0}{d\omega}, \quad /6/$$

$d\sigma/d\omega$ - сечение процесса /1/ в порядке α^4 ; $\omega = E_1 - E_2$ - потеря энергии пиона в лабораторной системе. Поправка /6/ вычислена со следующими кинематическими ограничениями /4/

* Эта программа имеется в Дубне.

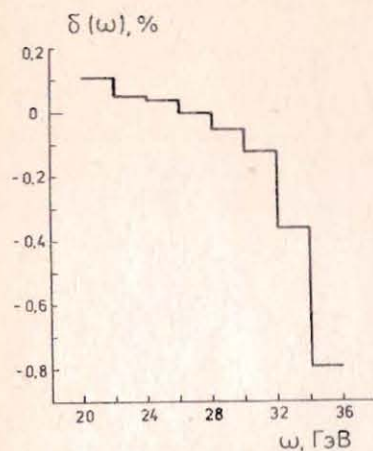


Рис.2. Электромагнитные поправки к сечению радиационного рассеяния π -мезонов на ядрах ^{12}C при энергии 40 ГэВ в условиях эксперимента /6/.

$$t \leq 6 \cdot 10^{-4} \text{ ГэВ}^2, \theta_\pi \leq 1,5 \cdot 10^{-2} /7/$$

$$\Delta\omega = 0,5 \text{ ГэВ}, \Delta\theta_{\gamma\gamma} = 2 \cdot 10^{-3},$$

учитывающими геометрию и критерии отбора событий в опыте /6/. Следует отметить, что по сравнению с /4/ помимо исправления неточностей в отдельных формулах работы /9/ /см. Приложение/

при вычислении ЭП был учтен вклад поляризации вакуума электронами, который составил примерно +0,5%.

3. Для оценки вклада ЭП в терминах поляризуемостей пиона результаты расчета поправок фитировались формулой /3/ с $a_\pi + \beta_\pi = 0$ /аналогично экспериментальным данным /8/ /. Получено, что ЭП имитируют

$$a_\pi^{\text{QED}} = -\beta_\pi^{\text{QED}} = 0,2 \cdot 10^{-43}. \quad /8/$$

В работе /6/ магнитная поляризуемость и сумма поляризуемостей извлекались из двумерного распределения событий по энергии налетающего фотона ω_1 и углу рассеяния фотона θ в антилабораторной системе, т.е. в системе, где начальный пион покоится. При этом сечение комптон-эффекта и сечение радиационного рассеяния связаны между собой спектром эквивалентных фотонов /10/ /см. формулу /3/ в /6/ /. Распределения в /6/ фитировались формулой /3/ со свободными параметрами - общая нормировка, β_π и $(a_\pi + \beta_\pi)$. ЭП были рассчитаны в этих переменных и для интерпретации в терминах поляризуемостей отфитированы аналогично экспериментальным данным /6/. Результаты такого расчета ЭП приведены в таблице. В результате фитирования было получено, что ЭП имитируют одновременно

$$\beta_\pi^{\text{QED}} = -0,3 \cdot 10^{-43} \text{ см}^3 \text{ и } (a_\pi + \beta_\pi)^{\text{QED}} = 0,1 \cdot 10^{-43} \text{ см}^3. \quad /9/$$

Видно, что учет ЭП важен при раздельном измерении магнитной поляризуемости и суммы поляризуемостей пиона с хорошей точностью, в особенности при измерении суммы, если иметь в виду теоретическую оценку /5/.

4. В работе /8/ показано, что при проведении эксперимента, по статистике аналогичного /1-3,6/, может быть достигнута точ-

Таблица

Электромагнитные поправки /в %/ к сечению радиационного рассеяния $d^2\sigma_0/d\omega_1 d\cos\theta$ в антилабораторной системе

ω_1 (МэВ) \ $\cos\theta$	-0,9	-0,7	-0,5	-0,3	-0,1	0,1	0,3	0,5
100-170	0,12	0,03	0,07	0,04				
170-230	-0,09	-0,03	-0,03	0,03	0,05	0,00		
230-350	-0,38	-0,15	-0,11	-0,32	-0,26	-0,05	-0,22	
350-600	-0,58	-0,60	-0,51	-0,82	-0,78	-0,24	-0,19	0,30

ность в измерении суммы электрической и магнитной поляризуемостей заряженного π -мезона $\Delta(a_\pi + \beta_\pi) \approx 0,2 \cdot 10^{-43}$ см³. Для этого необходимо /8/ иметь аксептанс установки, примерно в три раза больший, чем в /1-8,6/. Естественным путем увеличения аксептанса без изменения размеров установки является переход к большим энергиям $\sim 100 \div 150$ ГэВ. Созданная нами программа для ЭВМ позволяет рассчитать ЭП для любой энергии и конкретной конфигурации эксперимента по радиационному рассеянию пиона в кулоновском поле атомных ядер.

ПРИЛОЖЕНИЕ

В препринте /9/, представляющем полную сводку формул для ЭП к радиационному рассеянию точечного пиона на кулоновском центре, имеются опечатки и неточности.

Во-первых, при выполнении тождественных преобразований в выражении /44/ для инфракрасно расходящейся части сечения двойного тормозного излучения вместо формулы /47/ имеем*

$$\frac{d^2\sigma_R}{dE_2 dY} = \frac{Z^2 a^4}{\pi p_1^2} \int_{t_{\min}}^{t_{\max}} \frac{dt}{t^2} [J_0 \cdot S_D(t) + \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{d\Phi k}{\sqrt{\omega_Y}} S^0 \cdot \delta_R^{IR}], \quad /П.1/$$

а для величины

$$\delta_R^{IR} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{V_m^2} dV^2 \int d\Gamma_{2Y} \cdot 4F_{1,2}^{IR}$$

* Здесь используются обозначения, принятые в /9/.

вместо выражения /54/ получаем

$$\begin{aligned} \delta_R^{IR} = & J_0 [P_{IR} + \ln \frac{V_m^2}{(Z_0 \tilde{Z}_0)^{1/2}}] + \frac{Y_m}{\lambda_m^{1/2}} [\Phi(\frac{2r_Y}{r_Y+1}) - \Phi(\frac{2r_Y}{r_Y-1}) + \\ & + \ln \frac{Y Z_0 \tilde{Z}_0}{m^2 Y_t^2} \cdot \ln \frac{r_Y+1}{r_Y-1} + \Phi(\frac{\tilde{Z}_0 + a_2 Y_t}{a_2 Y_t}) - \Phi(\frac{\tilde{Z}_0 + a_2 Y_t}{a_1 Y_t}) + \quad /П.2/ \\ & + \Phi(-\frac{Z_0 - a_2 Y_t}{a_2 Y_t}) - \Phi(\frac{Z_0 - a_2 Y_t}{a_1 Y_t})], \end{aligned}$$

где $a_{1,2} = \frac{1}{2}(1 \pm r_Y)$.

Во-вторых, в формуле /А.32/ знак перед двумя последними функциями Спенса необходимо изменить на противоположный. Правильное выражение имеет вид

$$\begin{aligned} J_3^S = & \ln \frac{m^2 t^2}{Y Z_0^2} \cdot L_m + \frac{2}{\lambda_m^{1/2}} [\Phi(\frac{r_Y + r_t}{r_Y + 1}) - \Phi(\frac{r_Y + r_t}{r_Y - 1}) + \Phi(\frac{r_Y - r_t}{r_Y + 1}) - \\ & - \Phi(\frac{r_Y - r_t}{r_Y - 1}) - \frac{1}{2} \Phi(\frac{r_Y - 1}{r_Y + 1}) + \frac{1}{2} \Phi(\frac{r_Y + 1}{r_Y - 1})]. \quad /П.3/ \end{aligned}$$

Отметим также, что в выражении /8/ для вклада диаграмм перерасcеяния из работы /4/ пропущена константа a перед первой круглой скобкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антипов Ю.М. и др. Письма в ЖЭТФ, 1982, 35, с. 302.
2. Antipov Yu.M. et al. Z.Phys.C, 1984, 24, p. 39.
3. Antipov Yu.M. et al. Phys.Lett., 1983, 121B, p. 445.
4. Ахундов А.А., Бардин Д.Ю., Мицельмахер Г.В. ЯФ, 1983, 37, с. 360.
5. Терентьев М.В. УФН, 1974, 112, с. 37; ЯФ, 1972, 16, с. 162. Петрунькин В.А. ЭЧАЯ, 1981, 12, с. 692.
6. Антипов Ю.М. и др. ОИЯИ, Р1-84-490, Дубна, 1984.
7. Волков М.К., Первушин В.Н. ЯФ, 1975, 22, с. 346. Львов А.И., Петрунькин В.А. Препринт ФИАН СССР, 1977, №170; Efimov G.A., Okhlopko V.A. JINR, E4-11568, Dubna, 1978; Filkov L.V., Guiasu I., Radescu E.E. Phys.Rev.D, 1982, 26, p. 3146.

8. Bilenky M.S. et al. JIMR, E1-84-368, Dubna, 1984.
9. Ахундов А.А., Бардин Д.Ю. ОИЯИ, P2-82-650, Дубна, 1982.
10. Ахиезер А.И., Берестецкий В.Б. Квантовая электродинамика. "Наука", М., 1981.

СООБЩЕНИЯ, КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ, ПРЕПРИНТЫ И СБОРНИКИ ТРУДОВ КОНФЕРЕНЦИЙ, ИЗДАВАЕМЫЕ ОБЪЕДИНЕННЫМ ИНСТИТУТОМ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ЯВЛЯЮТСЯ ОФИЦИАЛЬНЫМИ ПУБЛИКАЦИЯМИ.

Ссылки на СООБЩЕНИЯ и ПРЕПРИНТЫ ОИЯИ должны содержать следующие элементы:

- фамилии и инициалы авторов,
- сокращенное название Института /ОИЯИ/ и индекс публикации,
- место издания /Дубна/,
- год издания,
- номер страницы /при необходимости/.

Пример:

1. Первушин В.Н. и др. ОИЯИ, P2-84-649, Дубна, 1984.

Ссылки на конкретную СТАТЬЮ, помещенную в сборнике, должны содержать:

- фамилии и инициалы авторов,
- заглавие сборника, перед которым приводятся сокращенные слова: "В кн."
- сокращенное название Института /ОИЯИ/ и индекс издания,
- место издания /Дубна/,
- год издания,
- номер страницы.

Пример:

Колпаков И.Ф. В кн. XI Международный симпозиум по ядерной электронике, ОИЯИ, D13-84-53, Дубна, 1984, с.26.

Савин И.А., Смирнов Г.И. В сб. "Краткие сообщения ОИЯИ", № 2-84, Дубна, 1984, с.3.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 декабря 1984 года.

Принимается подписка на препринты и сообщения Объединенного института ядерных исследований.

Установлена следующая стоимость подписки на 12 месяцев на издания ОИЯИ, включая пересылку, по отдельным тематическим категориям:

ИНДЕКС	ТЕМАТИКА	Цена подписки на год
1.	Экспериментальная физика высоких энергий	10 р. 80 коп.
2.	Теоретическая физика высоких энергий	17 р. 80 коп.
3.	Экспериментальная нейтронная физика	4 р. 80 коп.
4.	Теоретическая физика низких энергий	8 р. 80 коп.
5.	Математика	4 р. 80 коп.
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия	4 р. 80 коп.
7.	Физика тяжелых ионов	2 р. 85 коп.
8.	Криогеника	2 р. 85 коп.
9.	Ускорители	7 р. 80 коп.
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных	7 р. 80 коп.
11.	Вычислительная математика и техника	6 р. 80 коп.
12.	Химия	1 р. 70 коп.
13.	Техника физического эксперимента	8 р. 80 коп.
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами	1 р. 70 коп.
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях	1 р. 50 коп.
16.	Дозиметрия и физика защиты	1 р. 90 коп.
17.	Теория конденсированного состояния	6 р. 80 коп.
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники	2 р. 35 коп.
19.	Биофизика	1 р. 20 коп.

Подписка может быть оформлена с любого месяца текущего года.

По всем вопросам оформления подписки следует обращаться в издательский отдел ОИЯИ по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79.

Ахундов А.А. и др.

P2-84-815

Об электромагнитных поправках к поляризуемостям заряженного пиона

Проведен дополнительный расчет электромагнитных поправок к процессу радиационного рассеяния пионов в кулоновском поле ядер. Показано, что электромагнитные поправки имитируют одновременно магнитную поляризуемость $\beta_{\pi}^{\text{QED}} = -0,3 \cdot 10^{-43} \text{ см}^3$ и сумму электрической и магнитной поляризуемостей $(\alpha_{\pi} + \beta_{\pi})^{\text{QED}} = 0,1 \cdot 10^{-43} \text{ см}^3$ заряженного пиона.

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод авторов

Akhundov A.A. et al.

P2-84-815

About the Electromagnetic Corrections to the Polarizabilities of a Charged Pion

Electromagnetic corrections to the radiative scattering of pions in the Coulomb field of nuclei are calculated in more details. It is shown that electromagnetic corrections look like magnetic polarizability $\beta_{\pi}^{\text{QED}} = -0,3 \cdot 10^{-43} \text{ см}^3$ and at the same time the sum of electrical and magnetic polarizabilities $(\alpha_{\pi} + \beta_{\pi})^{\text{QED}} = 0,1 \cdot 10^{-43} \text{ см}^3$ of the charged pion.

The investigation has been performed at the Laboratory of Theoretical Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1984