

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

2954/82

28/VI-82

P2-82-200

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

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОПРАВКИ
К КОМПТОН-ЭФФЕКТУ НА π -МЕЗОНЕ

Направлено в "ЯФ"

* Институт физики АН АзССР, Баку

1. ВВЕДЕНИЕ

Известно^{/1/}, что при низких энергиях электромагнитные поправки /ЭП/ к двухфотонным процессам взаимодействия заряженных адронов приводят к появлению динамической поляризуемости, которая для легких адронов может составить заметную долю от их структурной поляризуемости, обусловленной сильными взаимодействиями. Поэтому исследование вклада ЭП в сечения комптоновского рассеяния на π^{\pm} , K^{\pm} -мезонах в широком интервале энергий представляется достаточно важным, особенно в связи с обсуждавшейся возможностью измерения излученности заряженных пионов^{/2/}.

Данная работа инициирована экспериментом ОИЯИ-ИФВЗ^{/3/} по изучению комптон-эффекта на π -мезонах и определению их поляризуемости в реакции радиационного рассеяния пионов высокой энергии на ядрах:

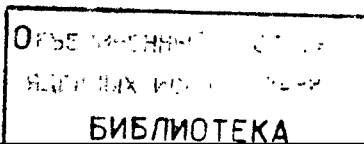


В борновском приближении процесс радиационного рассеяния π -мезона в кулоновском поле ядра описывается диаграммами рис.1. При извлечении структурных эффектов /диаграмма 4/ из измеряемых сечений необходимо учитывать ЭП к борновскому сечению, отвечающему вкладу диаграмм 1-3. Только после учета ЭП можно интерпретировать экспериментальные данные в терминах структурной поляризуемости адронов.

В настоящей работе вычисляются ЭП низшего порядка к тормозному излучению точечного пиона в кулоновском поле ядра. При этом используется определенная процедура расчета поправок, в рамках которой можно последовательно учесть тождественность регистрируемого и дополнительного фотонов, а также конечные разделения u -детектора по энергии и углу вылета фотонов.

В следующем разделе дается общая схема разложения ЭП к спектру рассеяния бесспиновой частицы на кулоновском центре с излучением жесткого фотона. Более подробное изложение этого вопроса составит предмет отдельной публикации.

* В эксперименте^{/3/} измерялись сечения процесса /1/ в области малых передач, где кулоновское рассеяние доминирует над ядерным^{/2/}.



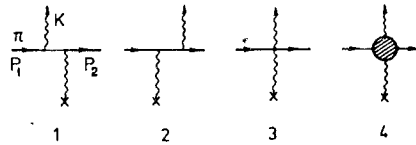


Рис.1. Диаграммы радиационного рассеяния пиона на кулоновском центре в борновском приближении.

В третьем разделе обсуждаются результаты численных расчетов для поправок к процессу /1/ в условиях эксперимента ^{13/}, полученные нами с помощью метода Монте-Карло. Показано, что с учетом ЭП значение поляризуемости заряженных π -мезонов, извлекаемое из анализа экспериментальных данных, уменьшается примерно на $1,5 \cdot 10^{-43} \text{ см}^3$.

2. СХЕМА РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОПРАВОК

Борновское сечение тормозного излучения точечного пиона на кулоновском центре имеет вид:

$$\frac{d^2 \sigma_0}{dE_2 dY} = \frac{Z^2 a^3}{p_1^2} \int_{t_{\min}}^{t_{\max}} \frac{dt}{t^2} S^{\circ}(t), \quad /2/$$

где

$$S^{\circ}(t) = -\frac{4E_1 E_2 t_m}{Y_t} \left(\frac{1}{\sqrt{C_Z^{\circ}}} - \frac{1}{\sqrt{\tilde{C}_Z^{\circ}}} \right) - 4m^2 \left(\frac{E_1^2 B_Z^{\circ}}{C_Z^{\circ 3/2}} + \frac{E_2^2 \tilde{B}_Z^{\circ}}{\tilde{C}_Z^{\circ 3/2}} \right) - \frac{1}{\sqrt{\omega_Y}}. \quad /3/$$

Здесь

$$Y = (p_1 - p_2)^2, \quad t = (p_1 - p_2 - k)^2;$$

$$B_Z^{\circ} = \frac{1}{2} Y Y_t + \omega (E_1 Y + E_2 t), \quad \tilde{B}_Z^{\circ} = -B_Z^{\circ} (E_1 \leftrightarrow -E_2),$$

$$C_Z^{\circ} = (E_1 Y - E_2 t)^2 + m^2 (4\omega^2 t - Y_t^2), \quad \tilde{C}_Z^{\circ} = C_Z^{\circ} (E_1 \leftrightarrow -E_2); \quad /4/$$

$$\omega_Y = \omega^2 + Y, \quad \omega = E_1 - E_2, \quad t_m = t + 2m^2, \quad Y_t = Y - t;$$

$$t_{\max, \min} = (\sqrt{\omega_Y} \pm \omega)^2,$$

a m - масса пиона.

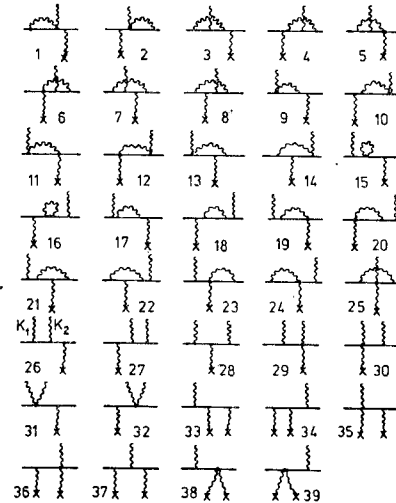


Рис.2. Диаграммы радиационного рассеяния пиона на кулоновском центре в порядке α^4 .

В порядке α^4 в сечение процесса /1/ дают вклад диаграммы, приведенные на рис.2.

Расчет вклада однопетлевых диаграмм 1-25 /V-вклад/ и двойного тормозного излучения /диаграммы 26-32 с соответствующими обменными/ /R-вклад/ проводился с помощью системы аналитических преобразований SCHOONSCHIP ^{14/}. Вычисление расходящихся интегралов выполнялось методом размерной регуляризации ^{15/}.

При расчете вклада в сечение двойного тормозного излучения /ДТИ/ необходимо проинтегрировать R-вклад по той части фазового объема, в которой ДТИ экспериментально неотличимо от однократного тормозного излучения. Эту часть фазового объема мы фиксируем следующим образом.

Если $\Delta\omega$ - порог регистрации γ -квантов детектором, а $\Delta\theta_{\gamma\gamma}$ - разрешение по их углу разлета, то для определенной энергии ω жесткого фотона ($\omega > \Delta\omega$) существует достаточно малое значение инвариантной массы регистрируемого и дополнительного фотонов:

$$0 < \Delta V^2(\omega) \leq \omega \Delta\omega (\Delta\theta_{\gamma\gamma})^2, \quad /5/$$

такое, что два γ -кванта с инвариантной массой $V^2 \leq \Delta V^2$ будут идентифицированы детектором как один фотон. Таким образом, в части фазового объема R-вклада, определяемой неравенством

$$0 \leq V^2 \leq \Delta V^2, \quad /6/$$

процесс излучения двух γ -квантов экспериментально неотличим от однофотонного излучения.

При $V^2 > \Delta V^2$ возможность идентификации кинематики однофотонного или двухфотонного излучения зависит от геометрии опыта и экспериментальных разрешений, и может быть учтена в вычислениях методом Монте-Карло.

Как ясно из вышеизложенного, параметр ΔV^2 является обобщением обычно используемого в расчетах ЭП параметра ΔE на случай эксклюзивных процессов с излучением жесткого фотона. Следует также отметить, что переменная $V^2 = (k_1 + k_2)^2$ очень

удобна для вычисления R-вклада с точки зрения учета тождественности фотонов, так как она симметрична по их кинематическим характеристикам.

Вклад в сечение ДТИ определяется интегралом по следующей области:

$$t_{\min} \leq t \leq t_{\max},$$

$$0 \leq V^2 \leq V_{\max}^2 = 2\sqrt{\omega_Y t} - Y - t. \quad /7/$$

С помощью ΔV^2 мы разбиваем R-вклад на два интеграла по областям /6/ и

$$\Delta V^2 \leq V^2 \leq V_{\max}^2. \quad /8/$$

Инфракрасная расходимость R-вклада будет присутствовать только в интеграле по области /6/ и сосредоточена на отрезке $[t_{\min}, t_{\max}]$. Но именно на этом отрезке определен V-вклад, который также содержит инфракрасную расходимость. Сумма же R- и V-вкладов свободна от расходимости.

Поскольку в области /6/ процесс ДТИ экспериментально неотличим от однофотонного излучения, то в этой области мы могли использовать ранее развитую методику вычисления ЭП к инклюзивным процессам, которая подробно изложена в работах /6/.

Формулы для V- и R-вкладов в сечение тормозного излучения будут приведены в отдельной работе. Здесь же мы выпишем окончательный результат вычисления вклада диаграмм перерасеяния /33-39, см. рис.2/:

$$\frac{d^2 \sigma_{RS}}{dE_2 dY} = f \cdot \pi Z \left[\left(\frac{E_1}{|p_1|} - \frac{E_2}{|p_2|} \right) \cdot \frac{d^2 \sigma_0}{dE_2 dY} - \frac{Z^2 \alpha^4}{p_1^2} \int_{t_{\min}}^{t_{\max}} \frac{dt}{t^{3/2}} S_P(t) \right], /8/$$

где

$$S_P(t) = - \frac{(E_1 + E_2)t_m}{Y_t} \left(\frac{1}{\sqrt{C_2^0}} - \frac{1}{\sqrt{\tilde{C}_2^0}} \right) - 2m^2 \left(\frac{E_1 B_Z^0}{C_2^0} + \frac{E_2 \tilde{B}_Z^0}{\tilde{C}_2^0} \right) - \frac{E_1}{\sqrt{C_2^0}} + \frac{E_2}{\sqrt{\tilde{C}_2^0}}, \quad /9/$$

а f - знак заряда пиона.

Полученные формулы были реализованы в виде программы для ЭВМ, в которой легко предусмотреть практически любые условия отбора событий процесса /1/ на опыте и геометрию установки. Численные расчеты в программе выполняются методом Монте-Карло.

3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты вычислений ЭП к сечению радиационного рассеяния π^- -мезонов на ядрах углерода при энергии 40 ГэВ, отвечающие

условиям эксперимента ^{/3/}, приведены на рис.3 /сплошная линия/. Здесь

$$\delta(\omega) = \frac{d\sigma}{d\omega} / \frac{d\sigma_0}{d\omega}, \quad /10/$$

$d\sigma/d\omega$ - сечение процесса /1/ в порядке $\alpha^4(\omega = E_1 - E_2)$, а $d\sigma_0/d\omega$ - борновское сечение.

Поправка /10/ вычислена с кинематическими ограничениями: по передаче $t \leq 2 \cdot 10^{-4}$ ГэВ² и углу рассеяния пионов $\theta_\pi \leq 1,5 \cdot 10^{-2}$, порогом регистрации фотонов $\Delta\omega = 0,5$ ГэВ и угловым разрешением $\Delta\theta_{\gamma\gamma} = 2 \cdot 10^{-3}$. Такие условия с достаточной точностью учитывают геометрию и критерии отбора событий в опыте ^{/3/}, поскольку, как показал расчет, величина поправки $\delta(\omega)$ не очень чувствительна к изменению этих параметров в довольно широких пределах.

Как видно из рисунка, величина ЭП положительна при не очень больших потерях энергии пионом, а в области $\omega \geq 24$ ГэВ становится отрицательной и достигает ~ -6% при $\omega = 34-36$ ГэВ.

Представляет интерес сравнить результаты точного расчета ЭП, выполненного в данной работе, с их приближенной оценкой, основанной на учете вклада динамической поляризуемости:

$$a(\omega^*) = \frac{4\alpha^2}{3\pi m^3} \ln \frac{\omega^*}{m}, \quad /11/$$

которая была введена в работе Герасимова и Соловьева ^{/1/} и учитывает эффекты высших по α - порядков в сечении комптоновского рассеяния реальных фотонов малых энергий ω^* - энергия фотона в системе покоя заряженной частицы/. Такое вычисление можно выполнить посредством введения $a(\omega^*)$ в амплитуду радиационного рассеяния аналогично структурной поляризуемости ^{/7/}.

Результаты расчета поправок к сечению процесса /1/ с использованием формулы /11/ изображены на рис.3 штрих-пунктирной линией. Видно, что такой учет ЭП дает лишь качественную картину, но не может служить точной количественной оценкой. Основной причиной отличия, по-видимому, является то, что формула /11/ получена, в логарифмическом приближении и применима при $\omega^* \lesssim m$, в то время как в рассматриваемом процессе существенно значительно большие энергии: $0,5 \lesssim \omega^*/m \lesssim 5$.

Сравним теперь вклад ЭП с возможным вкладом структурных эффектов в сечение процесса /1/. В области больших ω , где структурные эффекты могут давать заметный вклад ^{/2/}, сравнительно велики и ЭП. Расчеты показывают, что вклад поправок в изучаемой на опыте ^{/3/} области спектра от 24 до 36 ГэВ составляет ~ 30% от вклада поляризуемости, вычисленного при $a_\pi = 5 \cdot 10^{-48} \text{ см}^3$.

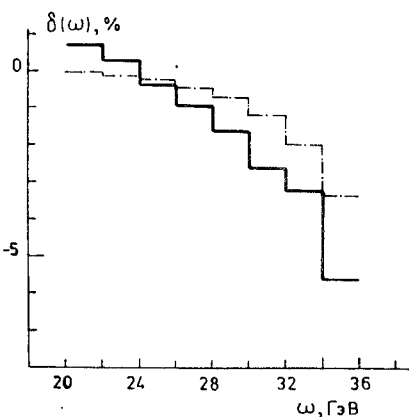


Рис.3. Электромагнитные поправки к сечению радиационного рассеяния π^- -мезонов на ядрах ^{12}C при энергии 40 ГэВ в условиях эксперимента ^{3/}.

Предварительный результат эксперимента ^{3/} дает значение поляризуемости заряженного π^- -мезона $a_\pi = 5.4 \cdot 10^{-48} \text{ см}^3$. Эта величина получена без учета ЭП к измеренным сечениям радиационного рассеяния. Учет же ЭП при анализе экспериментальных данных, как ясно из вышеизложенного, уменьшит извлекаемое значение поляризуемости примерно на $1,5 \cdot 10^{-48} \text{ см}^3$.

Выражаем глубокую благодарность С.Б.Герасимову за полезные обсуждения результатов работы и ценные замечания, а также А.С.Гальперину за помощь в вычислении вклада перерассеяния. Авторы признательны В.П.Джелепову за внимание и поддержку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gerasimov S.B., Soloviev L.D. Nucl.Phys., 1965, 74, p. 589. Пронько Г.П. ЯФ, 1975, 22, с. 141.
2. Гальперин А.С. и др. ЯФ, 32, 1980, с. 1053.
3. Антипов Ю.М. и др. Препринт ИФВЭ, СЭФ 82-40, Серпухов, 1982.
4. Strubbe H.S. Comp.Phys.Com., 1974, 8, p. 1.
5. G.'t'Hooft, Veltman M. Nucl.Phys., 1972, B44, p. 189.
6. Leibbrandt G. Rev.Mod.Phys., 1975, 47, p. 849.
7. Bardin D.Yu., Shumeiko N.M. Nucl.Phys., 1977, B127, p. 242. Ахундов А.А., Бардин Д.Ю., Шумейко Н.М. ЯФ, 1977, 26, с. 1251.
8. Терентьев М.В. УФН, 1974, 112, с. 37; ЯФ, 1972, 16, с.162.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 марта 1982 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

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

Д1,2-9224	IV Международный семинар по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1975.	3 р. 60 к.
Д-9920	Труды Международной конференции по избранным вопросам структуры ядра. Дубна, 1976.	3 р. 50 к.
Д9-10500	Труды II Симпозиума по коллективным методам ускорения. Дубна, 1976.	2 р. 50 к.
Д2-10533	Труды X Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Баку, 1976.	3 р. 50 к.
Д13-11182	Труды IX Международного симпозиума по ядерной электронике. Варна, 1977.	5 р. 00 к.
Д17-11490	Труды Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1977.	6 р. 00 к.
Д6-11574	Сборник аннотаций XV совещания по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дубна, 1978.	2 р. 50 к.
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.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
Д1,2-12036	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.
	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.
Д2-81-543	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.

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

Ахундов А.А., Бардин Д.Ю., Мицельмахер Г.В. P2-82-200
Электромагнитные поправки к комптон-эффекту на π -мезоне

Вычислены электромагнитные поправки к процессу радиационного рассеяния пионов высоких энергий в кулоновском поле атомных ядер. Показано, что учет электромагнитных поправок существен при извлечении значения поляризуемости заряженного пиона из экспериментальных данных.

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Akhundov A.A., Bardin D.Yu., Micelmacher G.V. P2-82-200
Electromagnetic Corrections to Compton-Effect on π -Meson

The electromagnetic corrections to the process of radiative scattering of high energy pions by nuclear Coulomb field are calculated. It is shown that the account of these corrections is important in an extraction of the pion polarizability value from the experimental data.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Вышел в свет очередной номер журнала "Физика элементарных частиц и атомного ядра", том 13, выпуск 2. Подписка на журнал проводится в агентствах и отделениях "Союзпечати", в отделениях связи, а также у общественных распространителей печати.

Перевод О.С.Виноградовой.