

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



P2 - 8476

Ш-961

31/III-75

Н.М.Шумейко

1234/2-75

О РАДИАЦИОННЫХ ПОПРАВКАХ
К ОБРАТНОМУ ЭЛЕКТРОРОЖДЕНИЮ ПИОНОВ

1974

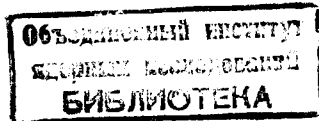
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

P2 - 8476

Н.М.Шумейко*

О РАДИАЦИОННЫХ ПОПРАВКАХ
К ОБРАТНОМУ ЭЛЕКТРОРОЖДЕНИЮ ПИОНОВ

Направлено в ЯФ



* Белорусский государственный университет
им. В.И.Ленина.

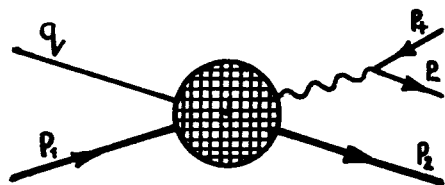
1. В этой работе в низшем порядке по α вычисляется радиационная поправка к процессу обратного электророзрождения пионов /ОЭП/ $\pi^- p \rightarrow \nu e^+ e^-$. Точность, достигнутая при изучении ОЭП на опыте /1/, составляет примерно 15%. Однако уже в проводимых в настоящее время экспериментах эта точность будет повышена в несколько раз, поэтому предварительные расчеты радиационной поправки к ОЭП представляются вполне оправданными.

2. В сечение ОЭП в порядках α^2 и α^3 дают вклад следующие диаграммы /рис. 1/.

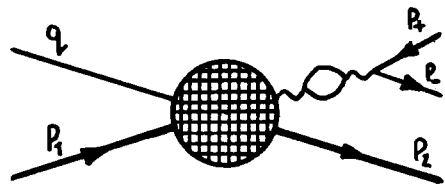
Последовательный расчет диаграмм 4/, 5/ и 8/ может быть сделан лишь в рамках конкретной модели. Естественно считать, однако, что вклад диаграмм 5/ и 8/, описывающих излучение адронами, будет значительно меньше вклада диаграмм 2/, 3/, 6/ и 7/, отвечающих излучению электронами. Поэтому в дальнейшем диаграммы 5/ и 8/ нами не учитываются. Что же касается диаграммы 4/, то, используя С-инвариантность электромагнитного взаимодействия, можно показать, что в рассматриваемом приближении (α^3) вклад этой диаграммы равен нулю, если $e^+ e^-$ -состояние $|p_+, p_- \rangle$ обладает определенной С-четностью, т.е.

$$C |p_+, p_- \rangle = \pm |p_+, p_- \rangle. \quad /1/$$

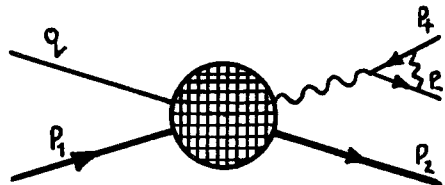
Это соответствует такой постановке эксперимента, когда не делается различия между электроном и позитроном, т.е. измеряются сечения, симметричные по характеристикам e^+ и e^- .



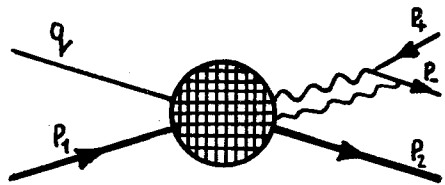
1)



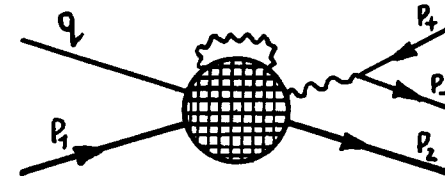
2)



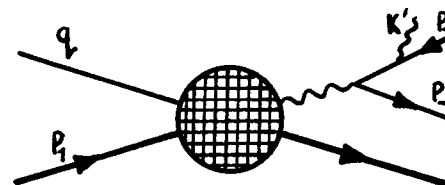
3)



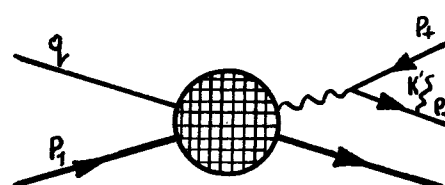
4)



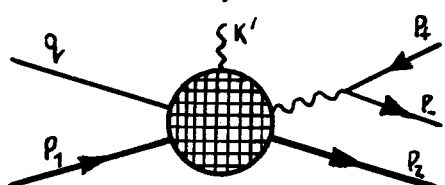
5)



6)



7)



8)

Рис. 1. Диаграммы процесса $\pi^- p \rightarrow p e^+ e^-$, вклад в сечение в порядках α^2 и α^3 .

дающие

Действительно, дифференциальное сечение ОЭП можно символически записать в виде

$$d\sigma = |M_1|^2 + 2 \operatorname{Re} M_1 (M_2 + M_3 + M_4)^* + |M_6 + M_7|^2, \quad /2/$$

где M_i - матричный элемент, отвечающий i -ой диаграмме. Рассмотрим вклад $2 \operatorname{Re}(M_1 M_4^*)$. Выделим в M_1 и M_4^* адронную (A) и лептонную (L) части и представим лептонные части в виде матричных элементов соответствующих операторов. Имеем

$$(M_1)(M_4^*) = (A_\alpha L_\alpha)(A_{\beta\delta} L_{\beta\delta}) = (A_\alpha \langle p_+, p_- | l_\alpha | 0 \rangle)(A_{\beta\delta} \langle 0 | l_{\beta\delta} | p_+, p_- \rangle). \quad /3/$$

Вводя с помощью тождества $C^{-1}C = 1$ оператор зарядового сопряжения, можем написать далее

$$(M_1)(M_4^*) = (A_\alpha \langle p_+, p_- | C^{-1} C l_\alpha C^{-1} C | 0 \rangle)(A_{\beta\delta} \langle 0 | C^{-1} C l_{\beta\delta} C^{-1} C | p_+, p_- \rangle). \quad /4/$$

Из C-инвариантности вытекает, что

$$C l_\alpha C^{-1} = l_\alpha, \quad C l_{\beta\delta} C^{-1} = l_{\beta\delta}. \quad /5/$$

Тогда, если имеет место /1/, из /4/ следует, что

$$(M_1)(M_4^*) = -(M_1)(M_4^*) = 0. \quad /6/$$

3. Расчет сечения /2/ с учетом /6/ производился с помощью стандартной техники. Результат может быть представлен в виде

$$d\sigma = d\sigma_0 (1 - \frac{\alpha}{\pi} \delta), \quad /7/$$

где $d\sigma_0$ - сечение, отвечающее диаграмме 1/, а δ - радиационная поправка. Ее можно записать в виде суммы вкладов соответствующих диаграмм:

$$\delta = \delta_2 + \delta_3 + \delta_{6,7}. \quad /8/$$

В ультрарелятивистском приближении ($E_+, E_- \gg m$) и при условии $k^2 \gg m^2$

$$\delta_2 = -\frac{2}{3} \ln R + \frac{10}{9}, \quad /9/$$

$$\delta_3 = -2 \ln \frac{m}{\lambda} (1 - \ln R) + \frac{1}{2} \ln^2 R - \frac{3}{2} \ln R - \frac{\pi^2}{6} + 2. \quad /10/$$

Здесь $R = k^2/m^2$, $k = p_+ + p_-$, E_+, E_- - энергии позитрона и электрона, m - масса электрона, λ - масса фотона.

Вычисление $\delta_{6,7}$ производилось в приближении мягких фотонов способом, используемым в работе /2/. В результате получилось

$$\begin{aligned} \delta_{6,7} = & 2 \ln \frac{2\bar{\omega}}{\lambda} (1 - \ln R) + \frac{1}{2} \ln^2 R + (1 - \ln R) (1 - \ln \frac{4E_+ E_-}{k^2}) + \\ & + \frac{1}{2} \ln^2 \frac{E_+}{E_-} - 1 + \frac{\pi^2}{3} - \phi(1 - \frac{k^2}{4E_+ E_-}), \end{aligned} \quad /11/$$

где $\phi(x)$ - функция Спенса, а $\bar{\omega}$ - та энергия фотона в сопутствующем процессе $\pi^- p \rightarrow n e^+ e^- \gamma$, начиная с которой этот процесс отличают на опыте от упругого процесса $\pi^- p \rightarrow n e^+ e^-$. Эта энергия определяется экспериментальными критериями отбора упругих событий. Отметим, что формула /11/ получена при условии, что $\bar{\omega} \ll E_+, E_-$.

Складывая /9/, /10/ и /11/, находим

$$\begin{aligned} \delta = & (\ln R - 1) (\ln \frac{E_+ E_-}{\bar{\omega}^2} - \frac{13}{6}) + \frac{1}{2} \ln^2 \frac{E_+}{E_-} + \frac{17}{18} + \frac{\pi^2}{6} - \\ & - \phi(1 - \frac{k^2}{4E_+ E_-}). \end{aligned} \quad /12/$$

Проведем численную оценку величины $\alpha/\pi \delta$ при значениях входящих в формулу /12/ величин, характерных для эксперимента /1/. Полагая

$$k^2 = 4E_+E_- \sin^2 \frac{\theta}{2} = 0,078 \text{ (ГэВ)}^2, \theta = 120^\circ, E_+ = E_-,$$

$$\bar{\omega} = 30 \text{ МэВ, имеем } \frac{\alpha}{\pi} \delta \cdot 100\% = 3,7\%.$$

Следует отметить, что если условие $\bar{\omega} \ll E_+, E_-$ не выполнится, то вычисление вклада ненаблюдаемых фотонов нужно будет производить с выделением жестких фотонов, что потребует знания динамики процесса ОЭП. При дальнейшем повышении точности эксперимента такие детальные расчеты сечения с учетом конкретных экспериментальных условий могут быть сделаны, например, способом, аналогичным использованному в ^{3/}.

В заключение выражаю глубокую благодарность Л.Л.Неменову за интерес к работе, а также Д.Ю.Бардину, С.М.Биленькому и Г.В.Мицельмахеру за полезные обсуждения.

Литература

1. С.Ф.Бережнев и др. ЯФ, 18, 102 /1973/.
2. B.E.Lautrup, J.Smith. Phys.Rev., D3, 1122 (1971).
3. D.Ju.Bardin, G.V.Micelmacher, N.M.Shumeiko. JINR, E2-6235, Dubna, 1972.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 декабря 1974 года.