

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

P1-84-490

Ю.М.Антипов<sup>1</sup>, В.А.Батарин<sup>1</sup>, В.А.Беззубов<sup>1</sup>,  
Н.П.Буданов<sup>1</sup>, Ю.П.Горин<sup>1</sup>, С.П.Денисов<sup>1</sup>,  
И.В.Котов<sup>1</sup>, П.А.Кулинич, А.А.Лебедев,  
Г.В.Мицельмахер, А.Г.Ольшевский,  
А.И.Петрухин<sup>1</sup>, С.А.Половников<sup>1</sup>,  
В.Н.Ройнишвили<sup>2</sup>, Д.А.Стойнова<sup>1</sup>, В.И.Травкин

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА СУММЫ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И МАГНИТНОЙ ПОЛЯРИЗУЕМОСТИ  
ПИОНА

Направлено в "Z. für Phys.C"

<sup>1</sup>Институт физики высоких энергий, Серпухов

<sup>2</sup>Институт физики АН ГССР, Тбилиси

1984

Важными характеристиками электромагнитной структуры адрона являются его электрическая и магнитная поляризуемости. Поляризуемости  $\alpha$  и  $\beta$  были введены как коэффициенты низкоэнергетического разложения амплитуды комптон-эффекта <sup>1/</sup>, характеризующие деформацию частицы во внешнем электрическом и магнитном полях соответственно.

К настоящему времени измерены поляризуемости протона  $\alpha_p = /10,7+1,1/ \cdot 10^{-43}$  см<sup>3</sup> и  $\beta_p = /0,7+1,6/ \cdot 10^{-43}$  см<sup>3/2/</sup>, поляризуемость пиона  $\alpha_\pi = -\beta_\pi = /6,8+1,4/ \cdot 10^{-43}$  см<sup>3/3/</sup> и получены ограничения на поляризуемости каона и нейтрона  $|\alpha_k| < 200 \cdot 10^{-43}$  см<sup>3/5/</sup>,  $|\alpha_n| < 60 \cdot 10^{-43}$  см<sup>3/4/</sup> \*.

Изучалась реакция радиационного рассеяния пионов на ядрах:



при 40 ГэВ. В этой реакции в области малых переданных ядру четырехимпульсов  $|t| < 6 \cdot 10^{-4}$  /ГэВ/с<sup>2</sup> доминирует рассеяние пионов на кулоновском поле ядра, что эквивалентно пионному комптон-эффекту. Ранее из анализа событий комптон-эффекта была определена поляризуемость пиона; при этом, на основе теории <sup>6/</sup>, предполагалось, что  $(\alpha_\pi + \beta_\pi) \approx 0$ . В настоящей работе с целью экспериментальной оценки  $(\alpha_\pi + \beta_\pi)$  проведен более полный анализ данных.

Как известно, сечение комптон-эффекта  $d\sigma_\gamma$  и сечение  $d\sigma$  радиационного рассеяния на фотонах ядра связываются между собой с помощью метода эквивалентных фотонов <sup>7/</sup>. Согласно этому методу:  $d\sigma = d\sigma_\gamma \cdot n(k) \cdot dk$ , где  $n(k)$  - плотность эквивалентных фотонов. При этом дифференциальные сечения имеют вид:

$$\frac{d^3\sigma}{dt d\omega_1 d\cos\theta} = \frac{\alpha Z^2}{\pi\omega_1} \cdot \frac{t - t_{\min}}{t^2} \cdot \frac{d\sigma_\gamma(\omega_1)}{d\cos\theta}, \quad /2/$$

$$\frac{d^2\sigma}{d\omega_1 d\cos\theta} = \frac{\alpha Z^2}{\pi\omega_1} \cdot \left[ \ln \frac{t_{\max}}{t_{\min}} - 1 + \frac{t_{\min}}{t_{\max}} \right] \cdot \frac{d\sigma_\gamma(\omega_1)}{d\cos\theta}, \quad /3/$$

$$\frac{d\sigma_\gamma}{d\cos\theta} = \frac{\pi\alpha^2}{m_\pi^2} \cdot \frac{|T|^2}{\left[1 + \frac{\omega_1}{m_\pi} (1 - \cos\theta)\right]^2}, \quad /4/$$

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

где  $|T|^2$  - квадрат матричного элемента комптон-эффекта:

$$|T|^2 = (1 + \cos^2\theta) \left[ 1 - \frac{2(\alpha_\pi + \beta_\pi) m_\pi}{\alpha} \omega_1 \omega_2 \right] + \frac{2\beta_\pi \cdot m_\pi}{\alpha} (1 - \cos\theta)^2 \omega_1 \omega_2.$$

Формулы /2/ ÷ /4/ записаны в системе, где начальный пион покоится, т.е. для реакции /1/ в антилабораторной системе. Переменные  $\omega_1, \omega_2, \theta$  - частоты налетающего и рассеянного фотонов, угол рассеяния фотона - связаны формулой Комптона

$$\frac{1}{\omega_2} - \frac{1}{\omega_1} = \frac{1 - \cos\theta}{m_\pi},$$

$t_{\min}, t_{\max}$  - соответственно минимальный и максимальный квадраты

переданного ядру четырехимпульса,  $t_{\min} = \frac{m_\pi^2 \omega_1^2}{E_1^2}$  определяется кинематикой опыта,  $t_{\max}$  - областью, в которой кулоновское рассеяние доминирует над ядерным и выбирается при обработке. Используются следующие обозначения:  $E_1$  - начальная энергия  $\pi$ -мезонов в реакции /1/,  $m_\pi$  - масса пиона,  $Z$  - заряд ядра,  $\alpha$  - постоянная тонкой структуры.

Из формулы /2/ видны характерные особенности рассматриваемого процесса - пик при малых переданных ядру четырехимпульсах для всех областей кинематических переменных и типично кулоновская  $Z^2$ -зависимость сечения.

Можно оценить из формулы /3/ наиболее существенные кинематические области и переменные при измерении параметров  $(\alpha_\pi + \beta_\pi)$  и  $\beta_\pi$ . На рис.1 приведены отношения вкладов в сечение членов  $\alpha_\pi$  и  $\beta_\pi$  к сечению в борновском приближении от переменной  $\cos\theta$  для различных  $\omega_1$ . Значения параметра в /3/ положены  $(\alpha_\pi + \beta_\pi) = 1,0 \cdot 10^{-43}$  см<sup>3</sup>,  $\beta_\pi = 7,0 \cdot 10^{-43}$  см<sup>3</sup>. Видно, что оба относительных вклада растут с увеличением  $\omega_1$  и что областью, чувствительной к  $(\alpha_\pi + \beta_\pi)$ , является область  $\cos\theta \approx 1$ , что в лабораторной системе соответствует большим углам излученного фотона.

Ранее нами было зарегистрировано  $\approx 6 \cdot 10^3$  событий комптон-эффекта. Постановка эксперимента и критерии отбора событий описаны в <sup>3/</sup>. Анализ событий проведен в системе покоя пиона. Переменные  $\omega_1$  и  $\cos\theta$  в системе покоя вычислялись в каждом индивидуальном событии через измеренные в эксперименте кинематические переменные.

Распределение событий по вычисленной энергии налетающего фотона  $\omega_1$  представлено на рис.2. Пороговое значение  $\omega_{1\min} = 100$  МэВ в этом распределении связано с отбором событий  $E_\pi < 16$  ГэВ <sup>3/</sup>. В дальнейшем область  $100 \leq \omega_1 \leq 600$  МэВ была разбита на четыре интервала, которые показаны на рис.2. Поправленные на рассчитанную методом Монте-Карло эффективность регистрации спектры по  $\cos\theta$  для интервалов по  $\omega_1$  приведены на рис.3. Пики при малых  $t$ ,

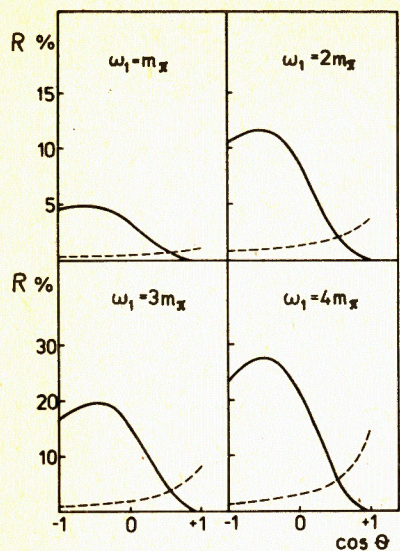
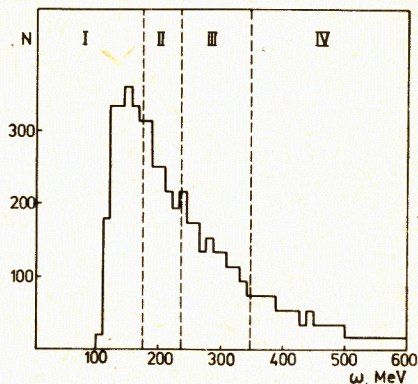


Рис.1. Отношения вкладов  $R$  в сечение членов с  $\beta_\pi$  /сплошная линия/ и  $(\alpha_\pi + \beta_\pi)$  /штриховая линия/ к сечению в борновском приближении от переменной  $\cos\theta$  для различных  $\omega_1$ .

Рис.2. Распределение событий комптон-эффекта по энергии налетающего фотона  $\omega_1$ .



соответствующие комптоновскому рассеянию, наблюдались в каждом интервале  $\Delta\omega_1, \Delta\cos\theta$  /см. примеры на рис.4/. При получении спектров в каждом интервале  $\Delta\omega_1, \Delta\cos\theta$  были проведены следующие вычитания фонов:

- а/ Фон сильных взаимодействий вычитался путем линейной экстраполяции из области больших  $t$  / $2 + 8 \cdot 10^{-3}$  /ГэВ/с/.
- б/ Фон взаимодействия вне мишени вычитался с помощью нормировки на специально проведенную без мишени экспозицию. Полученные спектры фитировались совместно по формулам /3/ с параметрами: общая нормировка  $C, \beta_\pi$  и  $(\alpha_\pi + \beta_\pi)$ . При фитировании были учтены также радиационные поправки и эффект перерасеяния пионов<sup>8,9/</sup>. На рис.3 сплошной кривой представлен результат фита, при этом  $\beta_\pi = -7,1 \cdot 10^{-43}$  см<sup>3</sup>,  $\alpha_\pi + \beta_\pi = 1,4 \cdot 10^{-43}$  см<sup>3</sup>, значение  $C$  согласуется с измеренным сечением комптон-эффекта. Полученный при фитировании  $\chi^2$  соответствует 20% уровню значимости. Наши данные исключают гипотезу  $\alpha_\pi = \beta_\pi = 0$  с уровнем достоверности больше 99%.

Для оценки систематических ошибок, связанных с вычитанием фонов, мы варьировали фон сильных взаимодействий на 50%, фон-взаимодействия вне мишени - на 30%. Сравнение результатов, полученных при разных геометрических обрезаниях, позволило оценить систематическую ошибку, связанную с неточностью расчета эффективности. Принимая во внимание систематические ошибки, мы получили

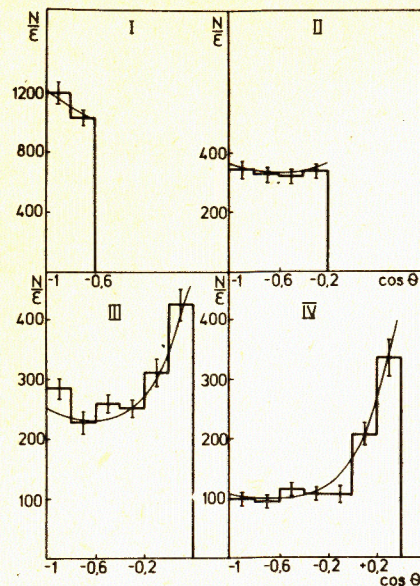


Рис.3. Поправленные на эффективность регистрации спектры событий комптон-эффекта по  $\cos\theta$  для интервалов  $\omega_1$ . Сплошная кривая - результат фита с учетом поляризуемостей.

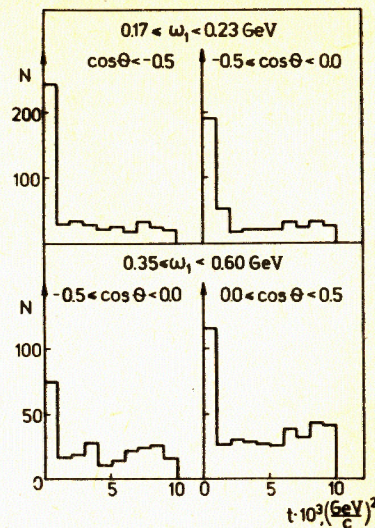


Рис.4. Распределения событий реакции /1/ по квадрату переданного ядру четырехимпульса  $t$  для различных интервалов  $\Delta\omega_1, \Delta\cos\theta$ .

$$\beta_\pi = /-7,1 \pm 2,8_{stat.} \pm 1,8_{syst.} / \cdot 10^{-43} \text{ см}^3,$$

$$\alpha_\pi + \beta_\pi = /1,4 \pm 3,1_{stat.} \pm 2,5_{syst.} / \cdot 10^{-43} \text{ см}^3.$$

Результат для магнитной поляризуемости совпадает с<sup>3/</sup>, а полученная оценка суммы поляризуемостей согласуется с принятым в<sup>3/</sup> условием  $\alpha_\pi + \beta_\pi = 0$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Klein A. Phys.Rev., 1955, 99, p. 998; Baldin A.M. Nucl.Phys., 1960, 18, p. 310; Петрунькин В.А. ЖЭТФ, 1961, 40, з. 1148.
2. Гольданский В.И. и др. ЖЭТФ, 1960, 38, с. 1695; Баранов П.С. и др. ЯФ, 1975, 21, с. 689.
3. Antipov Yu.M. et al. Phys.Lett., 1983, 121B, p. 445.
4. Александров Ю.А. и др. Письма в ЖЭТФ, 1966, 4, с. 196.
5. Backenstoss G. et al. Phys.Lett., 1973, 43B, p. 431.

6. Львов А.И., Петрунькин В.А. Препринт ФИАН СССР, 1970, с.170; Волков М.К., Первушин В.Н. ЯФ, 1975, 22, с. 346.
7. Heitler W. The Quantum Theory of Radiation, 3-rd ad. Oxford, Clarendon Press, 1954.
8. Ахундов А.А. и др. ЯФ, 2983, 37, с. 360.
9. Мицельмахер Г.В., Первушин В.Н. ЯФ, 1983, 37, с. 945.
10. Антипов Ю.М. и др. Препринт ИФВЭ, 83-143.

Антипов Ю.М. и др.

P1-84-490

Экспериментальная оценка суммы электрической и магнитной поляризуемостей пиона

Изучена реакция радиационного рассеяния  $\pi^-$ -мезонов на ядрах  $\pi Z \rightarrow \pi Z \gamma$  при 40 ГэВ. В этой реакции в области малых  $t < 6 \cdot 10^{-4} \text{ ГэВ}^2/c^2$  переданных ядру четырехимпульсов доминирует рассеяние пионов на фотонах ядра - пионный комптон-эффект. Ранее из анализа событий комптон-эффекта нами была определена поляризуемость  $\pi^-$ -мезона  $\beta_\pi = -\alpha_\pi = -6,8 + 1,4 \cdot 10^{-43} \text{ см}^3$ , при этом использовалось теоретическое значение для суммы электрической и магнитной поляризуемостей  $(\alpha_\pi + \beta_\pi) = 0$ . В настоящей работе проведен более полный анализ данных с целью экспериментальной проверки этого соотношения. Полученный результат согласуется с теоретическими предсказаниями.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод авторов

Antipov Yu.M. et al.

P1-84-490

The pion radiative scattering  $\pi Z \rightarrow \pi Z \gamma$  at 40 GeV was investigated. Coulomb scattering - i.e. pion Compton-effect-dominates for small four-momentum transfers in this reaction. In our previous paper we found the pion polarisability to be  $\beta_\pi = -\alpha_\pi = (-6.8 + 1.4) \cdot 10^{-43} \text{ cm}^3$ , where we assume following the theory that the sum of electrical and magnetic polarizabilities  $(\alpha_\pi + \beta_\pi) = 0$ . More complete analysis of our data is done in order to test this assumption. The result for  $(\alpha_\pi + \beta_\pi)$  is in agreement with theoretical predictions.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984

Рукопись поступила в издательский отдел  
10 июля 1984 года.