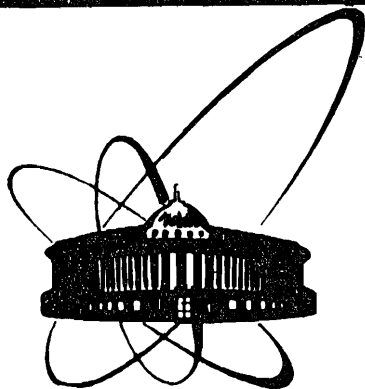


87-539



объединенный  
институт  
ядерных  
исследований  
дубна

A721

P1-87-539

УПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ  $\pi^-$  И  $K^-$ -МЕЗОНОВ  
НА ПРОТОНАХ ПРИ ИМПУЛЬСЕ 43 ГэВ/с

Сотрудничество СИГМА-АЯКС

Направлено в журнал "Ядерная физика"

1987

Ю.М.Антипов, В.А.Батарин, В.А.Беззубов, Н.П.Буданов, Ю.П.Горин, Д.С.Денисов, О.В.Ерошин, В.Г.Карташова, И.В.Котов, Ю.М.Мельник, А.И.Петрухин, С.А.Половников, Д.А.Стойнова  
Институт физики высоких энергий, Серпухов

А.В.Вишневецкий, И.А.Голутвин, Ю.А.Горнушкин, П.А.Кулинич, Р.Лейтнер, Г.В.Мицельмахер, А.А.Ноздрин, А.Г.Ольшевский, С.Риманн, Я.Седлак  
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Р.В.Пирцхалава, В.Н.Ройнишвили  
Институт физики АН ГССР, Тбилиси

## 1. Введение

В работе изложены результаты экспериментального исследования упругого рассеяния  $\pi^-$  и  $K^-$  мезонов на протонах при начальном импульсе 43 ГэВ/с. выполненого сотрудничеством СИГМА-АЯКС на ускорителе ИФВЭ. Используемая в эксперименте аппаратура и уровень набранной статистики позволили определить дифференциальные сечения упругого рассеяния в диапазоне передач  $0,2 < |t| < 1,4$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>. В работе описана экспериментальная установка, процедура набора и обработки данных, приведены и обсуждаются полученные результаты по дифференциальным сечениям и параметрам их наклона.

## 2. Экспериментальная установка

Схема установки приведена на рис.1. Направление пучковых частиц определялось пропорциональными камерами (1-8) и сцинтилляционными голоколпанами  $H_1$  и  $H_2$ . Сорт налетающих частиц определялся с помощью черенковских счетчиков: дифференциального D и двух пороговых  $C_1$  и  $C_2$  ( $\pi = C_1 \cdot C_2 \cdot D$ ,  $K = D \cdot C_1 \cdot C_2$ ). В пучке было примерно 98%  $\pi^-$  и 2%  $K^-$  мезонов. Прямая  $\pi^-$  мезонов в отобранном  $K^-$  мезонном пучке  $< 10^{-3}$ . Точность измерения направления пучковой частицы составляла  $\approx 0,1$  мрад.

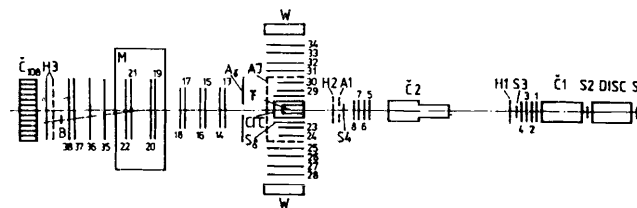


Рис.1 Схема экспериментальной установки.

В эксперименте использовалась жидководородная мишень  $T_2$  длиной 40 см, она была расположена внутри цилиндрической камеры  $T_1$ , работавшей в самогасящемся стримерном (СТС) режиме и измерявшей координату  $Y^*$  протонов отдачи.

\*<sup>2</sup> Используется система координат:  $Y$ -направлено вдоль пучка,  $X$ -горизонтальное направление,  $Z$ -вертикальное.

Рассеянные в мишени частицы измерялись магнитным спектрометром, состоящим из плоскостей (13+22) пропорциональных камер до магнита (6 для измерения X-проекции и 4 для Z-проекции); спектрометрического магнита с апертурой (ZXY) 75x150x560 см и интегралом поля 2,76 Т·м; 3 X-плоскостей (35+37) и одной Z-плоскости (38) за магнитом, а также X- и Z-плоскостей годоскопа  $H_3$ , служившего для запуска установки и временной привязки треков.

Точность измерения направления рассеянной частицы составляла  $\approx 0,35$  мрад. Импульс рассеянной частицы вычислялся в приближении однородного поля. Точность измерения импульса составляла  $\approx 4\%$  ( $\sigma_p \approx 1,8$  ГэВ/с, при  $p=43$  ГэВ/с) и определялась, в основном, точностью измерения направления рассеянной частицы за магнитом ( $\sigma_\theta \approx 0,6$  мрад).

Протоны отдачи измерялись двухплечевым спектрометром. Каждое плечо состояло из пропорциональных камер, измеряющих координату Y (плоскости 23+26 и 29+32), и камер, измеряющих Z (плоскости 27,28,33,34). Кроме того, как уже упоминалось, Y-координата для обоих плеч измерялась цилиндрической СТС-камерой.

Для запуска установки служили тонкие (5 мм) сцинтилляционные счетчики  $S_\delta$ , расположенные вблизи мишени, и сцинтилляционные калориметры W, состоящие из восьми блоков, размером (YZX) 1200x106x250 мм каждый<sup>/3/</sup>. Суммарные сигналы с калориметров дискриминировались порогом, соответствующим энерговыделению протона с кинетической энергией  $T_K \approx 50$  МэВ. Для того чтобы исключить влияние порога на определение дифференциального сечения упругого рассеяния, для обработки была выбрана область  $|t| > 0,2$  (ГэВ/с)<sup>2</sup> ( $T_K \approx 100$  МэВ). Амплитудная информация с блоков калориметров записывалась и была использована для калибровки калориметров на протонах от упругого рассеяния. Подробно результаты калибровки описаны в работе<sup>/3/</sup>. Суммарное количество вещества перед калориметрами (кожух мишени, несущий цилиндр СТС-камеры, счетчик  $S_\delta$ ) составляло в этом эксперименте  $L \approx 1,7$  г/см<sup>2</sup> ( $\sqrt{L/L_R} \approx 0,2$ ;  $L_R$ -радиационная длина). Многократное рассеяние в этом веществе определяло, для малых энергий протона отдачи, угловую точность измерения бокового трека. Для больших энергий протона угловая точность определялась, в основном, разрешением боковых камер и составляла  $\approx 3$  мрад.

Запуск установки и мониторинг проводились с помощью счетчиков совпадений  $S_1+S_4, S_\delta, W$  и антисовпадений  $A_1, A_2, A_\gamma, AJ$  (AJ-кольцевой спектрометр, по типу аналогичный W, запрещал вылет частиц из мишени в область азимутальных углов, не регистрируемую

двухплечевым спектрометром). Суммарный сигнал запуска, таким образом, определялся как

$$\text{"Триггер"} = S_1 \times S_2 \times S_3 \times S_4 \times A_1 \times (n/K) \times B \times S_\delta \times W \times A_\gamma \times AJ \times H_{3Z},$$

где B-сцинтилляционный счетчик, расположенный за магнитом, который выключал не взаимодействовавший пучок;  $A_\gamma$ -счетчик типа "сэндвич"-запрещал вылет частиц из мишени вперед под большими углами (отверстие в  $A_\gamma$  было размером (XZ) 170x140 мм). Мониторинг проводился с учетом случайных выключений запусков счетчиками антисовпадений.

### 3. Набор и обработка данных. Отбор событий упругого рассеяния

Набор статистики проводился отдельно на  $\pi^-$  и K- мезонах. За время экспозиции через установку было пропущено  $\approx 6 \times 10^8$   $\pi^-$ -мезонов и  $\approx 4,5 \times 10^8$  K-мезонов. Во время набора статистики с помощью ЭВМ контролировалась работоспособность установки в целом и параметры регистрирующих систем. Записанная на магнитные ленты информация была обработана программами геометрической реконструкции. Восстановление треков проводилось по проекциям в группах плоскостей пропорциональных камер (пучковой, до магнита, за магнитом и боковых). На выходные ленты записывались параметры треков, не использованные при восстановлении искры: номера сработавших каналов кодировщиков и амплитуды в них, мониторы и т.п. Эта информация использовалась при дальнейшем анализе.

События упругого рассеяния отбирались по следующим критериям. По направлению и импульсу пучковой частицы и направлению бокового трека предсказывалось направление рассеянной частицы. Для отбора событий упругого рассеяния требовалось, чтобы разница между предсказанным и измеренным направлениями  $\Delta\theta$  не превышала трех стандартных отклонений  $\sigma_\theta$ . Распределение события по величине  $(\Delta\theta/\sigma_\theta)^2$  для всего интервала передач и для  $t \geq 0,7$  (ГэВ/с)<sup>2</sup> показано на рис. 2. В этом распределении виден четкий пик, отвечающий упругому рассеянию. Оценка числа событий упругого рассеяния, отброшенных требованием  $(\Delta\theta/\sigma_\theta)^2 < 9$ , оказалась  $\leq 2,5\%$ , оценка числа фоновых событий в этой области  $\leq 1\%$  (эти оценки слабо зависят от передачи). Распределение отобранных событий по импульсу рассеянной частицы приведено на рис. 3. Ширина распределения ( $\approx 4,5$  ГэВ/с) соответствует разрешению установки по этой переменной с учетом неопределенности начального импульса и точности используемого приближения однородного поля ( $\approx 1\%$ ). В распределении Y-координат точек взаимодействия для отобранных событий на рис.4 четко видна мишень длиной 40 см.

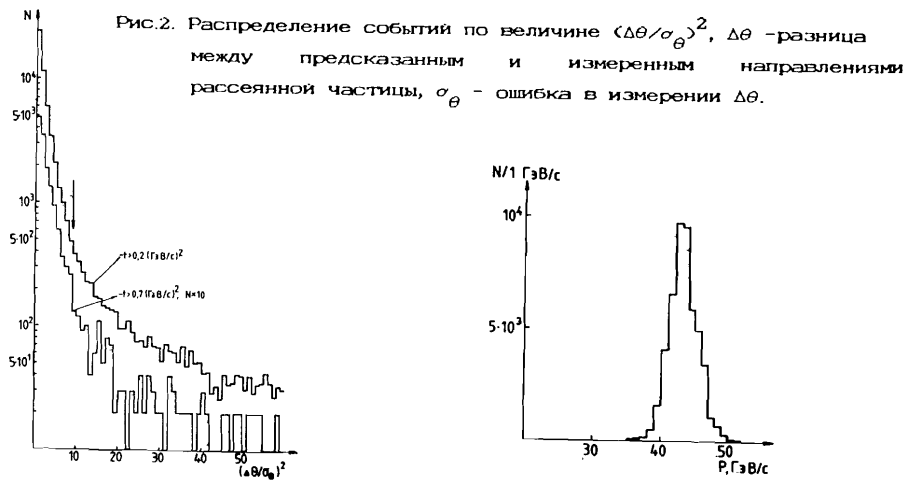


Рис.2. Распределение событий по величине  $(\Delta\theta/\sigma_\theta)^2$ ,  $\Delta\theta$  - разность между предсказанным и измеренным направлениями рассеянной частицы,  $\sigma_\theta$  - ошибка в измерении  $\Delta\theta$ .

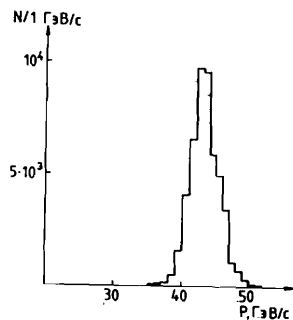


Рис.3. Распределение событий упругого рассеяния по продольному импульсу рассеянной частицы.

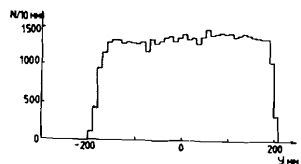


Рис.4. Распределение событий упругого рассеяния по продольной координате Y точки взаимодействия.

Квадрат переданного в реакции упругого рассеяния четырехимпульса  $t$  определялся как взвешенное среднее измеренного по углу рассеянной частицы и углу частицы отдачи. При таком вычислении разрешение по  $t$  плавно менялось от 0,010 до 0,015  $(\text{ГэВ}/\text{с})^2$  во всем диапазоне  $0,2 < |t| < 1,4 (\text{ГэВ}/\text{с})^2$ .

#### 4. Вычисление сечения

Дифференциальное сечение упругого рассеяния вычислялось по формуле:

$$\frac{d\sigma}{dt} = \frac{N}{M} \times \frac{1}{\Delta t} \times \frac{1}{\epsilon} \times \frac{1}{N_p} \times \chi,$$

где  $N$  - число событий, зарегистрированных в интервале  $\Delta t$ ,  $M$  - число пучковых  $\pi^- (K^-)$  - мезонов,  $N_p$  - число протонов на  $\text{см}^2$  в водородной мишени. Акцептанс установки  $\epsilon$  не менялся в области передач  $0,2 < |t| < 0,7 (\text{ГэВ}/\text{с})^2$  и составлял  $\approx 21,5\%$  - эта цифра определяется

азимутальным углом  $\Delta\phi$ , регистрируемым установкой. В области  $0,7 < |t| < 1,4 (\text{ГэВ}/\text{с})^2$  акцептанс плавно уменьшался до  $\approx 10\%$ . Возможная систематическая ошибка в расчете акцептанса, связанная с погрешностями в измерении положений детекторов и юстировкой, может привести к ошибке в абсолютной нормировке сечения  $\leq 3\%$  и ошибке в измерении параметра наклона  $\Delta b \leq 0,1 (\text{ГэВ}/\text{с})^{-2}$ .

В поправочный коэффициент  $\chi$  были включены неэффективности регистрирующих систем, поглощение пучковых и рассеянных частиц в мишени, примесь мюонов в пионном пучке, вклад фона неупругих реакции и т.п. Основной вклад в поправочный коэффициент дают неэффективности регистрирующих систем. Эти неэффективности определялись во время геометрической реконструкции.

Для пучковой системы требовалась регистрация обеих проекций пучкового трека и годоскопами, и камерами. Вклад неэффективности пучковой системы в поправочный коэффициент составлял  $\approx 1,2$ .

Для рассеянной частицы требовались: регистрация проекций трека до и после анализирующего магнита, "сшивка" проекций в центре магнита и срабатывание нужного счетчика в годоскопе  $H_3$ . Вклад в поправочный коэффициент, связанный с неэффективностью систем регистрации рассеянной частицы, составлял  $\approx 1,2$  и не зависел от квадрата переданного четырехимпульса  $t$ .

Наибольший вклад в поправочный коэффициент дает неэффективность боковых трековых систем, измеряющих XY- и XZ- проекции, причем большой диапазон регистрируемых полярных углов протона отдачи и большой Y-размер мишени могут привести к  $t$ -зависимости эффективности XY-системы. Эта эффективность была изучена двумя способами. В первом - события упругого рассеяния отбирались по рассеянной вперед частице и проекции XZ, а эффективность в данной точке по  $t$  определялась из числа событий, имеющих и проекцию XY. Во втором способе для восстановления XY-проекции вместе с координатами из пропорциональных камер использовались и Y-координаты трека, измеренные цилиндрической СТС-камерой. События упругого рассеяния отбирались полностью в соответствии с критериями п.3. Эффективность XY-системы в точках по  $t$  определялась из числа событий, где информация из цилиндрической камеры была избыточной для восстановления проекции трека. (Оценка эффективности вторым способом была проведена только для части статистики, в которой присутствовала информация с СТС-камер). Полученные двумя методами значения эффективности совпадают в пределах ошибок. Разницу между значениями ( $\approx 2\%$ ) мы приписали систематической ошибке в нормировке сечения. Эффективность XZ-системы определялась только способом, аналогичным первому.

Суммарный вклад в поправочный коэффициент от неэффективностей боковых трековых систем менялся от  $\approx 1,6$  в области  $|t| \approx 0,2$   $(\text{ГэВ}/c)^2$  до  $\approx 1,4$  в области  $|t| \geq 0,5$   $(\text{ГэВ}/c)^2$ . Учет этой зависимости приводит к изменению параметра наклона  $b$  на  $\approx 0,4$   $(\text{ГэВ}/c)^{-2}$ , при этом мы оцениваем систематическую ошибку как  $\Delta b \approx \pm 0,2$   $(\text{ГэВ}/c)^{-2}$ .

Для оценки систематической ошибки в определении абсолютного значения дифференциального сечения, связанной с определением эффективностей систем, регистрирующих рассеянную частицу, обработка была проведена при других условиях восстановления проекции треков. Мы оцениваем ошибку в нормировке сечения  $\pm 2,5\%$ .

При вычислении сечений упругого рассеяния в работах /4,6,7,8/ не учитывались электромагнитные поправки. Корректное вычисление поправок требует проведения теоретических расчетов процессов порядка  $\alpha$  к упругому рассеянию с учетом условий эксперимента и критериев отбора событий. Оценка возможного вклада электромагнитных поправок выполнена в работе /12/. В измеренном нами диапазоне передач вклад поправок в сечение упругого рассеяния отрицательный, составляет несколько процентов и растет по абсолютной величине с ростом передачи. Точность расчетов, выполненных в работе /12/, оценивается в несколько процентов, величину, сравнимую с самой поправкой, поэтому мы не корректировали дифференциальное сечение, а учли электромагнитные поправки в систематических ошибках. Оценка ошибки в абсолютной нормировке  $\leq 2\%$ , оценка систематической ошибки в параметре наклона  $\Delta b \leq 0,05$   $(\text{ГэВ}/c)^{-2}$ .

Суммарная систематическая ошибка в определении абсолютного значения дифференциального сечения составляет  $\pm 10\%$  (получено линейным сложением приведенных выше оценок).

## 5. Результаты

Дифференциальные сечения  $d\sigma/dt$  для  $\pi^-$  и  $K^-$ -мезонов приведены на рис.5, рис.6 и в табл.1. Полученные данные по дифференциальным сечениям аппроксимировались экспоненциальными формулами:

$$\frac{d\sigma}{dt} = \left(\frac{d\sigma}{dt}\right)_{t=0} \exp(bt) \quad (1)$$

$$\frac{d\sigma}{dt} = \left(\frac{d\sigma}{dt}\right)_{t=0} \exp(bt+ct^2) \quad (2)$$

$$\frac{d\sigma}{dt} = \left(\frac{d\sigma}{dt}\right)_{t=0} \exp(bt+ct^2+dt^3) \quad (3)$$

в узком диапазоне передач  $0,2 < |t| < 0,8$   $(\text{ГэВ}/c)^2$  и в широком диапазоне  $0,2 < |t| < 1,4$   $(\text{ГэВ}/c)^2$ . Результаты аппроксимации

Таблица 1

Дифференциальное по  $t$  сечение упругого  $\pi^-$ - и  $K^-$ -рассеяния

$ t $ $(\text{ГэВ}/c)^2$	$\pi^-$	$K^-$
	$d\sigma/dt$ (мбн $(\text{ГэВ}/c)^{-2}$ )	$d\sigma/dt$ (мбн $(\text{ГэВ}/c)^{-2}$ )
0,18±0,20	5,245 ± 0,095	4,163 ± 0,089
0,20±0,22	4,344 ± 0,086	3,552 ± 0,082
0,22±0,24	4,108 ± 0,084	3,059 ± 0,076
0,24±0,26	3,351 ± 0,074	2,731 ± 0,070
0,26±0,28	2,964 ± 0,069	2,385 ± 0,065
0,28±0,30	2,407 ± 0,061	2,088 ± 0,062
0,30±0,32	2,132 ± 0,057	1,801 ± 0,057
0,32±0,34	1,972 ± 0,055	1,488 ± 0,051
0,34±0,36	1,568 ± 0,049	1,293 ± 0,048
0,36±0,38	1,334 ± 0,044	1,151 ± 0,045
0,38±0,40	1,232 ± 0,043	1,006 ± 0,042
0,40±0,42	1,053 ± 0,041	0,913 ± 0,041
0,42±0,44	0,906 ± 0,037	0,827 ± 0,038
0,44±0,46	0,804 ± 0,035	0,706 ± 0,034
0,46±0,50	0,640 ± 0,022	0,614 ± 0,023
0,50±0,54	0,470 ± 0,019	0,475 ± 0,020
0,54±0,58	0,380 ± 0,012	0,357 ± 0,013
0,58±0,62	0,286 ± 0,011	0,276 ± 0,011
0,62±0,66	0,224 ± 0,009	0,231 ± 0,010
0,66±0,72	0,184 ± 0,007	0,188 ± 0,008
0,72±0,78	0,116 ± 0,006	0,138 ± 0,007
0,78±0,84	0,100 ± 0,006	0,099 ± 0,006
0,84±0,92	0,057 ± 0,004	0,068 ± 0,005
0,92±1,00	0,035 ± 0,003	0,042 ± 0,004
1,00±1,08	0,030 ± 0,003	0,030 ± 0,003
1,08±1,18	0,019 ± 0,002	0,022 ± 0,003
1,18±1,28	0,007 ± 0,002	0,011 ± 0,002
1,28±1,38	0,006 ± 0,002	0,011 ± 0,002
$\sigma_{el}$ (мбн)	3,43 ± 0,12	2,46 ± 0,09

приведены в табл.2 и табл.3. Фит (1) плохо описывает экспериментальные данные даже в узком диапазоне передач. Фит (2) удовлетворительно описывает наши данные в узком диапазоне переданных четырехимпульсов. Введение кубического члена (фит(3))

Таблица 2

Параметры упругого  $\pi^-$ -рассеяния для:  
 $0,2 < |t| < 0,8$  (ГэВ/с)<sup>2</sup> 20 точек  
 $0,2 < |t| < 1,4$  (ГэВ/с)<sup>2</sup> 26 точек

Число точек	Фит	$\chi^2$	$(d\sigma/dt)_{t=0}$	b	c	d
			мб(ГэВ/с) <sup>-2</sup>			
1	87		18,3 ± 0,4	6,88±0,05		
20	2	22	29,7 ± 1,8	9,30±0,28	2,68±0,29	
	3	21	26,1 ± 5,0	8,37±1,36	0,62±3,00	-1,42±2,16
26	1	155	17,3 ± 0,3	6,71±0,05		
	2	41	25,3 ± 1,0	8,49±0,16	1,77±0,14	
	3	32	32,5 ± 3,5	10,02±0,67	4,52±1,25	1,44±0,74

Таблица 3

Параметры упругого  $K^-$ -рассеяния для:  
 $0,2 < |t| < 0,8$  (ГэВ/с)<sup>2</sup> 20 точек  
 $0,2 < |t| < 1,4$  (ГэВ/с)<sup>2</sup> 26 точек

Число точек	Фит	$\chi^2$	$(d\sigma/dt)_{t=0}$	b	c	d
			мб(ГэВ/с) <sup>-2</sup>			
1	60		12,1 ± 0,3	6,19±0,06		
20	2	12	19,2 ± 1,3	8,47±0,32	2,47±0,33	
	3	12	18,9 ± 4,0	8,36±1,47	2,23±3,20	-0,17±2,23
26	1	108	11,4 ± 0,2	6,01±0,05		
	2	25	16,3 ± 0,7	7,63±0,17	1,53±0,14	
	3	19	20,8 ± 2,5	9,13±0,76	4,20±1,41	1,40±0,88

значимо \*) улучшает аппроксимацию экспериментальных данных в диапазоне  $0,2 < |t| < 1,4$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>. Мы пробовали фитировать данные и с фиксированной оптической точкой ( $\frac{d\sigma}{dt} \Big|_{t=0} = 30,0$  мбн/(ГэВ/с)<sup>2</sup> для  $\pi^-$  и 21,2 мбн/(ГэВ/с)<sup>2</sup> для  $K^-$ ). Значения параметров при этом практически не изменяются.

\*) Статистическая значимость определялась по F-критерию Фишера

$$F = \frac{(\chi_3^2 - \chi_4^2)(N-4)}{2\chi_4^2}, \text{ где } N - \text{число точек, а } \chi_3^2 \text{ и } \chi_4^2 - \text{значения,}$$

полученные в фитах без кубического члена и с кубическим членом соответственно. Для  $\pi^-$   $F=6,2$ , для  $K^-$   $F=6,9$  это соответствует  $\approx 98\%$  уровню значимости фита (3).

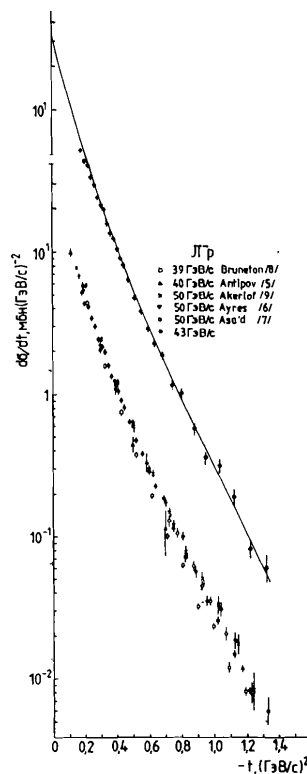


Рис.5. Дифференциальное по  $t$  сечение упругого  $\pi^-$ -рассеяния. Сплошная кривая - результат фита (3).

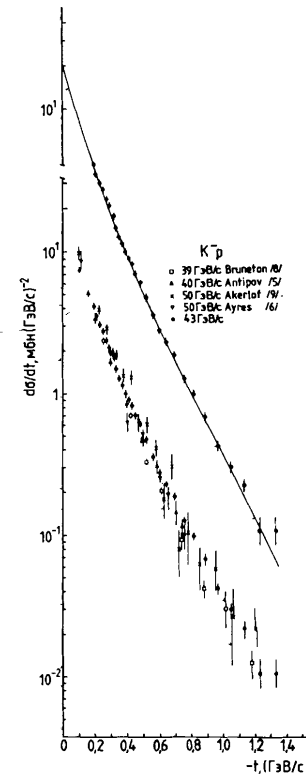


Рис.6. Дифференциальное по  $t$  сечение упругого  $K^-$ -рассеяния. Сплошная кривая - результат фита (3).

Полное сечение упругого рассеяния было вычислено как интеграл от экспоненциальной формы (2) в пределах  $0 < |t| < 1,0$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>. Полученные значения для полного сечения приведены в табл.1. Указанные ошибки - статистические, они вычислены из ошибок и коэффициентов корреляций параметров.

Проведем сравнение полученных результатов с результатами работ, выполненных при близких значениях начальной энергии. Данные экспериментов<sup>4,5/</sup> при энергиях 39±50 ГэВ для  $\pi^-$  и  $K^-$ -мезонов приведены на рис.5 и рис.6. В работах<sup>4,5/</sup> были измерены  $\pi^-$  и  $K^-$ -р

дифференциальные сечения упругого рассеяния в области передач  $|t|$  только до  $0,8 \text{ (ГэВ/с)}^2$ . В работе <sup>6/</sup> упругое рассеяние  $\pi^-$ -мезонов изучалось в широкой области передач, начиная с  $|t| \geq 0,7 \text{ (ГэВ/с)}^2$ .

В настоящем эксперименте дифференциальное сечение упругого  $\pi^-$ - и  $K^-$ -рассеяния было измерено в области  $0,2 < |t| < 1,4 \text{ (ГэВ/с)}^2$ . Эта область передач хорошо "сшивает" области, изученные в <sup>4,5,6/</sup>. Измеренные в эксперименте абсолютные значения дифференциальных сечений согласуются с данными <sup>4,5,6/</sup> и позволяют сделать вывод о небольшом, но статистически значимом изменении наклона дифференциальных сечений в исследованном интервале  $t$ .

Измерения упругого рассеяния  $\pi^-$ - и  $K^-$ -мезонов на протонах в сходящей с нашей области передач были проведены в работах <sup>7,8/</sup>. Однако данные <sup>7/</sup> для  $\pi^-$ -мезонов систематически отличаются от данных других экспериментов. В работе <sup>8/</sup> дифференциальное сечение упругого  $\pi^-$ - и  $K^-$ -рассеяния было измерено с большими статистическими ошибками, данные <sup>8/</sup> для  $K^-$ -мезонов отличаются от данных других экспериментов. Кроме того, в <sup>7,8/</sup> не проводилось абсолютное измерение дифференциальных сечений, а была выполнена нормировка на оптическую точку.

Для количественного сравнения параметров наклонов дифференциального сечения, полученных в разных работах, мы использовали предложенное в <sup>4/</sup>  $b^* = \left[ \frac{d}{dt} \left( \ln \frac{d\sigma}{dt} \right) \right]_{t=-0,2 \text{ (ГэВ/с)}^2}$ . Значения  $b^*$  для нашего эксперимента и из работ <sup>4+8/</sup> приведены в табл.4. Все значения  $b^*$  хорошо согласуются друг с другом.

В работе <sup>8/</sup> изучалось упругое  $\pi^+$ - и  $K^+$ -рассеяние при энергиях 50, 100 и 200 ГэВ. В этой работе наблюдалось неожиданное примерное равенство дифференциальных сечений  $\pi^-$ - и  $K^-$ -мезонов в области  $0,8 < |t| < 2,5 \text{ (ГэВ/с)}^2$  (аналогичный факт наблюдался для  $\pi^+$  и  $K^+$  при 14 ГэВ в работе <sup>10/</sup>). Недостаточная статистическая точность этого эксперимента не позволила авторам <sup>8/</sup> провести подробное сравнение дифференциальных сечений  $\pi^-$ - и  $K^-$ -мезонов. Сравнение мезон-протонных дифференциальных сечений упругого рассеяния проводилось в работах <sup>6,9/</sup>. В работе <sup>6/</sup> сечения  $\pi^-$  и  $K^-$  упругого рассеяния изучались при 20 ГэВ в области  $|t| > 0,6 \text{ (ГэВ/с)}^2$ , наблюдалось примерное равенство сечений до  $|t| \approx 2,7 \text{ (ГэВ/с)}^2$ . Аналогичный результат был получен в работе <sup>9/</sup> для  $\pi^+$  и  $K^+$  при 100 и 200 ГэВ в области  $1 < |t| < 2,5 \text{ (ГэВ/с)}^2$ . Теоретически вопрос о равенстве мезонных сечений упругого рассеяния в области больших передач обсуждался в работах <sup>13/</sup>.

Полученные в нашем эксперименте данные позволяют провести сравнение дифференциальных сечений упругого  $\pi^-$ - и  $K^-$ -рассеяния

Таблица 4

Параметры наклона  $b^* = \left[ \frac{d}{dt} \left( \ln \frac{d\sigma}{dt} \right) \right]_{t=-0,2 \text{ (ГэВ/с)}^2}$   
упругого  $\pi^-$ -рассеяния

Эксперимент	$b \text{ (ГэВ/с)}^{-2}$	$c \text{ (ГэВ/с)}^{-4}$	$b^* \text{ (ГэВ/с)}^{-2}$
Antipov <sup>4/</sup>	$9,63 \pm 0,31$	$2,9 \pm 0,5$	8,47
Ayres <sup>5/</sup>	$9,7 \pm 0,1$	$3,1 \pm 0,2$	$8,45 \pm 0,06$
Bruneton <sup>7/</sup>	$9,38 \pm 0,05$	$2,07 \pm 0,05$	$8,76 \pm 0,16$
Akerlof <sup>8/</sup>	$8,60 \pm 0,07$	$1,71 \pm 0,06$	7,92
This exp.	$9,30 \pm 0,28$	$2,68 \pm 0,29$	$8,23 \pm 0,17$

Таблица 5

Параметры наклона  $b^* = \left[ \frac{d}{dt} \left( \ln \frac{d\sigma}{dt} \right) \right]_{t=-0,2 \text{ (ГэВ/с)}^2}$   
упругого  $K^-$ -рассеяния

Эксперимент	$b \text{ (ГэВ/с)}^{-2}$	$c \text{ (ГэВ/с)}^{-4}$	$b^* \text{ (ГэВ/с)}^{-2}$
Antipov <sup>4/</sup>	$8,90 \pm 0,23$	$2,8 \pm 0,4$	7,78
Ayres <sup>5/</sup>	$8,9 \pm 0,3$	$2,5 \pm 0,6$	$7,95 \pm 0,14$
Bruneton <sup>7/</sup>	$9,00 \pm 0,17$	$2,13 \pm 0,15$	$8,15 \pm 0,18$
Akerlof <sup>8/</sup>	$7,83 \pm 0,37$	$1,43 \pm 0,44$	7,26
This exp.	$8,47 \pm 0,32$	$2,47 \pm 0,33$	$7,48 \pm 0,19$

при 43 ГэВ в области  $0,2 < |t| < 1,4 \text{ (ГэВ/с)}^2$ . На рис.7 показано отношение сечений упругого  $\pi^-$ - и  $K^-$ -рассеяния в зависимости от  $t$ . Приведенные ошибки - статистические. Из рис.7 видно, что сечения  $\pi^-$  и  $K^-$  имеют разные наклоны и пересекаются при  $|t| \approx (0,65 \pm 0,10) \text{ (ГэВ/с)}^2$ . На рис.7 также представлены данные <sup>6,9/</sup>. Авторы работ <sup>6,9/</sup> приводят точки пересечения  $|t| \approx 1,5 \text{ (ГэВ/с)}^2$  и  $|t| \approx 1,0 \text{ (ГэВ/с)}^2$  соответственно. По сравнению с данными <sup>6,9/</sup> настоящий эксперимент имеет и хорошую статистическую точность и интервал передач  $t$ , удобный для сравнения дифференциальных сечений.

Сравнение дифференциальных сечений упругого рассеяния  $\pi^-$ - и  $K^-$ -мезонов проводилось в некоторых работах (см., например, <sup>7/</sup>) в рамках гипотезы геометрического скейлинга <sup>11/</sup>, согласно которой,

дифференциальные сечения  $\pi$  и  $K$  становятся одинаковыми, если их отнормировать на оптические точки и отложить относительно переменной  $t\sigma_{tot}^-$ , где  $\sigma_{tot}^-$  - полное сечение. В работе<sup>11</sup>, выполненной при 39 ГэВ/с, в пределах точности измерений наблюдалось согласие с гипотезой геометрического скейлинга. Данные по дифференциальным сечениям для  $\pi^-$  и  $K^-$  мезонов, полученные в нашем эксперименте, и соответствующие фиты (3), в зависимости от скейлинговой переменной  $t\sigma_{tot}^-$  приведены на рис.8. Наши данные, имеющие лучшую, чем данные<sup>11</sup>, точность, говорят о значимом различии этих сечений. Аналогичное нарушение геометрического скейлинга наблюдалось при 100 ГэВ в работе<sup>9</sup>. Ранее нарушения простого геометрического скейлинга для разных каналов упругого рассеяния обсуждались в работах<sup>11</sup>.

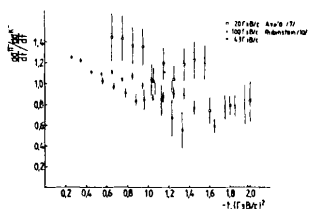


Рис.7. Отношение дифференциальных сечений упругого  $\pi^-$  и  $K^-$  - рассеяния.

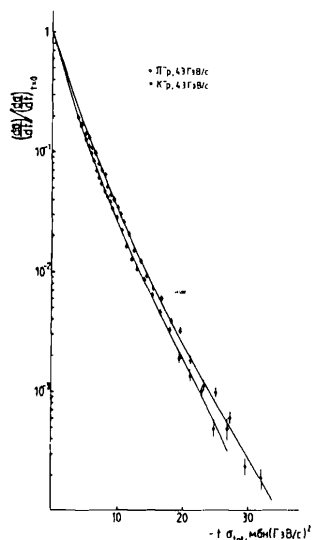


Рис.8. Проверка геометрического скейлинга.

#### 6. Заключение

Суммируем кратко результаты, полученные в работе:

1. Измерено абсолютное дифференциальное сечение  $\pi^-$  и  $K^-$  упругого рассеяния при импульсе 43 ГэВ/с в диапазоне передач  $0,2 < |t| < 1,4$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>.
2. В измеренном диапазоне передач дифференциальные сечения  $\pi^-$  и  $K^-$  мезонов хорошо описываются экспоненциальной формой (3). Найденные при аппроксимации значения параметров были использованы

для вычисления  $b^M$ -наклона в точке  $t=-0,2$  (ГэВ/с)<sup>2</sup> и  $\sigma_{el}^-$ -полного сечения упругого рассеяния. Полученные значения  $b^M$  и  $\sigma_{el}^-$  согласуются с результатами других экспериментов.

3. Хорошая статистическая точность эксперимента позволила провести детальное сравнение дифференциальных сечений  $\pi^-$  и  $K^-$  упругого рассеяния в диапазоне  $0,2 < |t| < 1,4$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>. Отношение дифференциального сечения  $\pi^-$  к сечению  $K^-$  меняется от  $\approx 1,2$  при  $t=-0,2$  (ГэВ/с)<sup>2</sup> до  $\approx 0,7$  при  $t=-1,4$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>. Сечения пересекаются при  $t \approx (-0,65 \pm 0,10)$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>.

4. Сравнение дифференциальных по скейлинговой переменной  $t\sigma_{tot}^-$  сечений  $\pi^-$  и  $K^-$ , отнормированных на оптические точки, показывает, что сечения не описываются одной универсальной функцией. То есть гипотеза простого геометрического скейлинга не выполняется для разных каналов упругого рассеяния при 43 ГэВ/с.

Мы благодарны дирекциям ИФВЭ и ОИЯИ за поддержку работы, а также Д.Ю.Бардину и Б.З.Копелиовичу за полезное обсуждение теоретических вопросов.

#### Литература

1. Мельник Ю.М. и др. ПТЭ, 3(1983)40.
2. Вахтин В.Г., Травкин В.И. Препринт ОИЯИ 13-86-813, Дубна, 1986.
3. Антипов Ю.М. и др. Препринт ОИЯИ 13-87-344, Дубна, 1987.
4. Antipov Yu. M. et al. Nucl. Phys. B57(1973)333.
5. Ayres D. S. et al. Phys. Rev. D15(1977)3105.
6. Asa'd Z. et al. Nucl. Phys. B255(1985)273.
7. Bruneton C. et al. Nucl. Phys. B124(1977)391.  
Поташникова И.К. Ядерная физика, 26(1977)1277
8. Akerlof C. W. et al. Phys. Rev. D14(1976)2864.
9. Rubinstein R. et al. Phys. Rev. D30(1984)1413.
10. Rubinstein R. et al. Phys. Rev. Lett. 30(1973)1010.
11. Buras A., Dias de Deus. Nucl. Phys. B71(1974)481.  
Barger V., Luthe J., Phillips R. J. N. Nucl. Phys. B88(1975)237.  
Barger V., Phillips R. J. N. Phys. Lett. 60B(1976)358.  
Dias de Deus J., Kroll P. Phys. Lett. 60B(1976)375.
12. Sogard M. R. Phys. Rev. D9(1974)1468.
13. Копелиович Б.З. Элементарные частицы. Тринадцатая школа физики ИТЭФ, М., ИТЭФ, 1987.  
Kopeliovich B. Z. et al. Preprint JINR, E2-86-125, Dubna, 1986.

Рукопись поступила в издательский отдел  
14 июля 1987 года.



НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

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

Д3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р.00 к.
Д7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р.55 к.
Д2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р.00 к.
Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р.50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р.30 к.
Д1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р.50 к.
Д10,11-84-818	Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983.	3 р.50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/	7 р.75 к.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р.00 к.
Д13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р.80 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р.75 к.
Д3,4,17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1986.	4 р.50 к.
	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984. /2 тома/	13 р.50 к.
Д1,2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. /2 тома/	7 р.35 к.

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

Антипов Ю.М. и др.

P1-87-539

Упругое рассеяние  $\pi^-$  и  $K^-$ -мезонов на протонах при импульсе 43 ГэВ/с

Упругое рассеяние  $\pi^-$  и  $K^-$ -мезонов на протонах при импульсе 43 ГэВ/с было изучено на установке СИГМА-АЯКС на серпуховском ускорителе. Получены дифференциальные сечения в диапазоне переданных импульсов  $0,2 < |t| < 1,4$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>, определены параметры наклона дифференциальных сечений  $\pi^-$  и  $K^-$ -мезонов в исследованной области передач. Результаты сравниваются с существующими экспериментальными данными и теоретическими моделями.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ, и ИФВЭ, Серпухов.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод О.С.Виноградовой.

Antipov Yu.M. et al.

P1-87-539

Elastic Scattering of  $\pi^-$  and  $K^-$ -Mesons on Protons at 43 GeV/c Momentum

Elastic scattering of  $\pi^-$  and  $K^-$ -mesons on protons at 43 GeV/c was investigated at IHEP accelerator using SIGMA-AJAX setup. Differential cross sections have been measured within the  $0.2 < |t| < 1.4$  (GeV/c)<sup>2</sup> range of momentum transfers. The slope parameters of cross sections have been determined. The differential cross sections of  $\pi^-$  and  $K^-$ -mesons are compared with each other, and with the existing experimental data and theoretical models.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987