

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



Ц 8406
В-493

9/1-78
13 - 10980

В.Б.Виноградов, В.Г.Одинцов

245/2-78

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА СИСТЕМЫ
ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ
СЧЕТЧИКОВ ДЛЯ 180-САНТИМЕТРОВОЙ
СТРИМЕРНОЙ КАМЕРЫ

1977

13 - 10980

В.Б.Виноградов, В.Г.Одинцов

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА СИСТЕМЫ
ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ
СЧЕТЧИКОВ ДЛЯ 180-САНТИМЕТРОВОЙ
СТРИМЕРНОЙ КАМЕРЫ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Виноградов В.Б., Одинцов В.Г.

13 - 10980

Расчет оптимального варианта системы определяющих сцинтилляционных счетчиков для 180-сантиметровой стримерной камеры

Разработан алгоритм и создана программа для расчета эффективности системы определяющих сцинтилляционных счетчиков для 180-сантиметровой стримерной камеры в магнитном поле. Рассчитаны эффективности различных вариантов расположения и размеров счетчиков для регистрации ряда реакций при энергиях 5-20 ГэВ и выбран оптимальный вариант системы счетчиков.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Vinogradov V.B., Odintsov V.G.

13 - 10980

Calculation of Optimal Version for a System of Determining Scintillation Counters for the 180 cm Streamer Chamber

An algorithm and a program for calculating the efficiency of determining scintillation counter system for the 180 cm streamer chamber have been worked out. Efficiencies were calculated for different versions of disposition and dimensions of counters for registration of a series of reactions at 5-20 GeV. The optimal version for the counter system was selected.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в ЛЯП ОИЯИ совместно с ЕрФИ /Ереван/, ТГУ /Тбилиси/, ИЭФ и Университетом в г. Кошице /ЧССР/ для исследований на ускорителе У-70 ИФВЭ создается гибридная спектрометрическая установка, включающая два двухметровых электромагнита, стримерную камеру, искровые и пропорциональные камеры, сцинтилляционные и черенковские счетчики. Эта установка является развитием спектрометра, который будет использоваться для исследования гиперзарядовообменных процессов при энергиях 5-20 ГэВ^{1/}.

Вершинным детектором установки, с помощью которого будут регистрироваться вторичные заряженные частицы, будет служить 180-сантиметровая стримерная камера. Внутри камеры будет расположена жидководородная мишень. Общий вид стримерной камеры в электромагните ИК-3-4 показан на рис. 1 и 2. Являясь управляемым детектором, стримерная камера позволит производить отбор событий реакций определенного типа. Для этого установка будет оборудована системой идентификации первичной частицы, системой идентификации быстрых вторичных частиц, а также системой определяющих сцинтилляционных счетчиков, окружающих рабочий объем стримерной камеры. Система сцинтилляционных счетчиков даст информацию о количестве заряженных частиц, образованных в реакции, и позволит отбирать события по этому признаку.

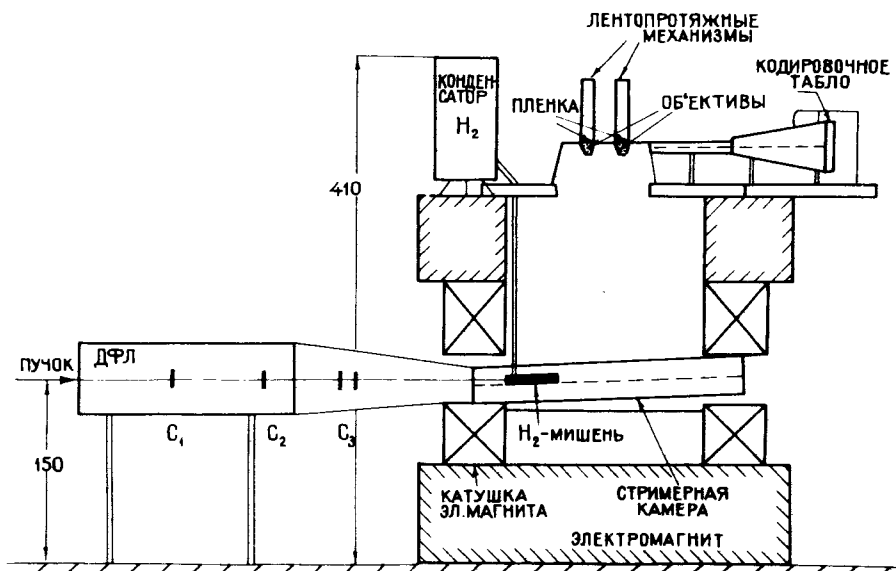


Рис. 1. Стримерная камера в электромагните /вид сбоку/.

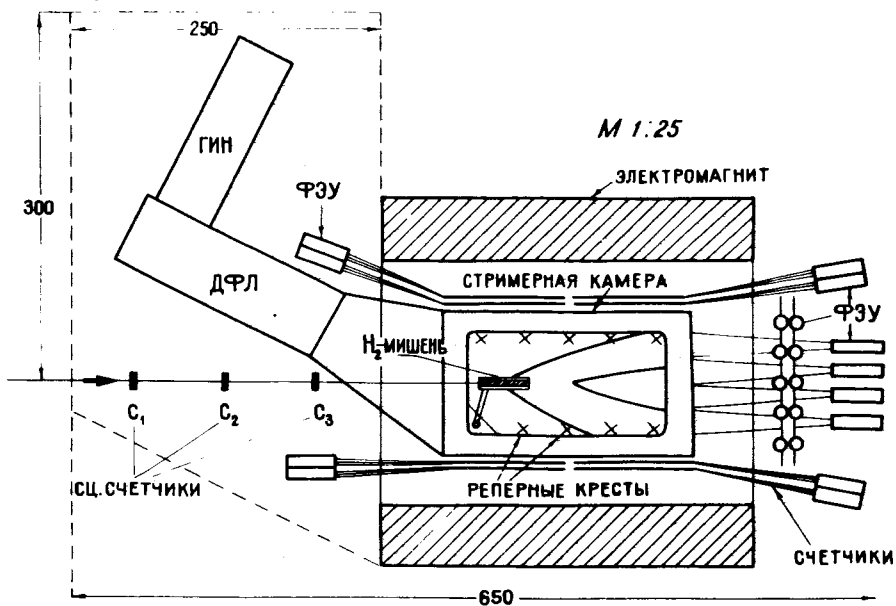


Рис. 2. Стримерная камера в электромагните /вид сверху/.

При выборе качества счетчиков в системе необходимо удовлетворить противоречивые требования. С одной стороны, система счетчиков не должна быть конструктивно сложной и дорогостоящей и поэтому должна содержать минимальное количество отдельных счетчиков, а также связанных с ними фотоумножителей и электронных блоков. С другой стороны, она должна быть достаточно универсальной, чтобы обеспечить выделение широкого круга реакций, а это приводит к увеличению количества счетчиков.

Для определения оптимального варианта системы были смоделированы 20 реакций при двух энергиях налетающих частиц: 5 и 20 ГэВ/с.

$$\pi^- p \rightarrow n + m\pi^+ + m\pi^-, \quad m=1,2,3,4; \quad /1/$$

$$\pi^- p \rightarrow p + m\pi^+ + (m+1)\pi^-, \quad m=1,2,3; \quad /2/$$

$$\pi^- n \rightarrow n + m\pi^+ + (m+1)\pi^-, \quad m=1,2,3; \quad /3/$$

$$\pi^- n \rightarrow p + (m-1)\pi^+ + (m+1)\pi^-, \quad m=1,2,3; \quad /4/$$

$$\pi^+ p \rightarrow K^+ Y \quad (Y = \Sigma^+, Y_{1385}^+); \quad /5,6/$$

$$\pi^+ n \rightarrow K^0 Y \quad (Y = \Sigma^+, Y_{1385}^+); \quad /7,8/$$

$$\pi^+ n \rightarrow K^+ Y \quad (Y = \Lambda^0, \Sigma^0, Y_{1385}^0); \quad /9-11/$$

Реакции /1/-/4/ относятся к классу типичных процессов с множественным образованием частиц, реакции /5/-/11/ представляют собой гиперзарядообменные процессы, которые предполагается исследовать с помощью данной установки в первую очередь. Выбор энергии /5 и 20 ГэВ/ обусловлен возможностями канала частиц ускорителя У-70 ИФЭ, на котором будет базироваться установка. Круг моделируемых реакций /1/-/11/ обладает достаточной степенью общности, поэтому система сцинтилляционных счетчиков, построенная на основе расчетных данных, будет иметь достаточную универсальность.

Для реакций /1/-/11/ и 14 вариантов системы определяющих сцинтилляционных счетчиков были вычислены вероятности регистрации определенного количества вторичных заряженных частиц, образующихся в этих реакциях. Полученные данные дают возможность определить оптимальный вариант системы определяющих сцинтилляционных счетчиков для стримерной камеры.

2. СИСТЕМА СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ СЧЕТЧИКОВ

С точки зрения максимальной эффективности регистрации событий идеальным являлось бы окружение сцинтилляционными счетчиками всего объема стримерной камеры. Однако фотографирование треков через верхний электрод и наличие системы ввода высоковольтного импульса у передней стенки ограничивает количество плоскостей, около которых могут располагаться сцинтилляционные счетчики, до четырех: задней, донной и двух боковых. Кроме того, данные счетчики могут закрывать лишь часть нижней поверхности, поскольку на нижнем полюсе магнита располагаются реперные кресты, которые должны быть видны со стороны объективов, и из-за наклонного расположения стримерной камеры в зазоре электромагнита достаточный зазор для размещения сцинтилляционных счетчиков существует только сзади до середины камеры.

Общая площадь счетчиков составляет $1,9 \text{ м}^2$ /42% от поверхности стримерной камеры/ и состоит из площадей двух боковых стенок с размерами $1,8 \times 0,3 \text{ м}^2$, задней стенки - $0,8 \times 0,3 \text{ м}^2$ и дна - $0,9 \times 0,6 \text{ м}^2$.

На рис. 3 и 4 приведены использованные при расчетах 14 вариантов системы счетчиков с количеством счетчиков от 8 до 54. При конструировании системы счетчиков мы шли последовательно от менее сложного варианта к более сложному. При этом усложнение производилось за счет деления отдельных счетчиков. Основанием такого деления являлись вычисленные вероятности попадания двух и более вторичных частиц события в один счетчик. Счетчик, у которого эта вероят-

ность была максимальной, делился на отдельные части.

Деление счетчиков при расчете данной реакции прекращалось, когда очередной шаг деления не приводил к существенному />10%/ увеличению вероятности попадания всех вторичных частиц в разные счетчики.

При делении принимались во внимание расположение стримерной камеры в магните, а также возможность размещения световодов и фотоэлектронных умножителей.

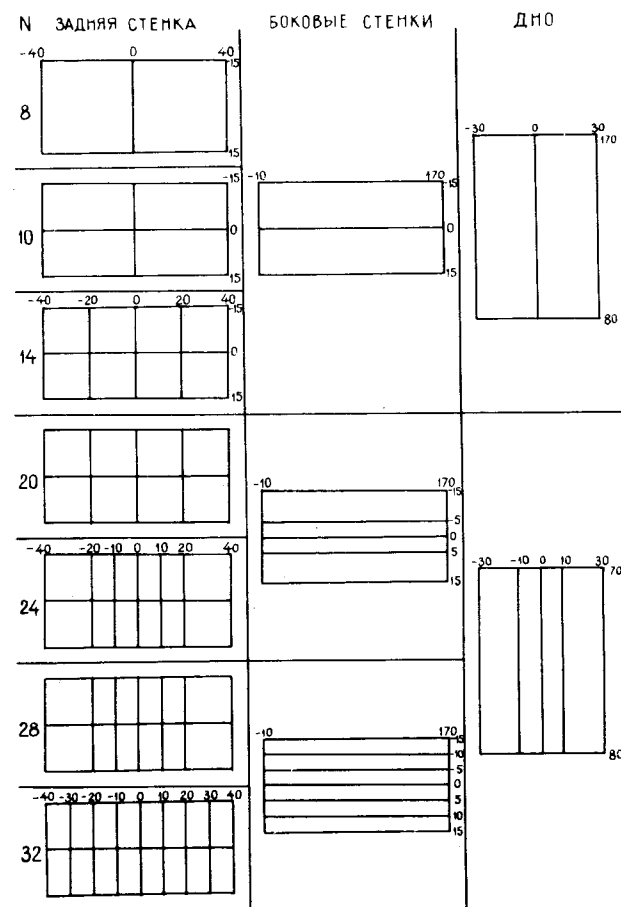


Рис. 3. Системы сцинтилляционных счетчиков /варианты 8-32 счетчиков/.

Приведенные 14 вариантов счетчиков и связанные с ними расчеты обладают некоторой идеализацией, а именно предполагается, что счетчики находятся в непосредственной близости к рабочему объему стримерной камеры. На самом деле электроды камеры, защитные кожухи, система крепления и транспортировки счетчиков в магните, экранировка ФЭУ от магнитного поля не позволяют этого сделать. Однако это не влияет на

конечный вывод работы о том, какой должна быть оптимальная система счетчиков в случае данной установки, и приводит только к масштабному увеличению размеров счетчиков, особенно их задней плоскости, на более далеко /1,5 м/ расположенной от границы рабочего объема.

3. АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ВЕРОЯТНОСТЕЙ РЕГИСТРАЦИИ

События, соответствующие процессам /1/ и /11/, генерировались методом Монте-Карло с помощью программы вычисления фазового объема FOWL^{/2/}.

Для каждой вторичной частицы события были определены импульс P и проекции импульса P_x, P_y, P_z , удовлетворяющие закону сохранения энергии импульса в реакции.

Для учета динамики процессов /1/-/11/ каждому сгенерированному событию приписывался вес W_t , пропорциональный экспериментальному дифференциальному

сечению $\frac{d\sigma}{dt} = f(t)$, где t - переданный импульс

нуклона мишени к вторичному нуклону в случае процессов /1/-/4/ и гиперону - в случае процессов /5/-/11/.

Зависимость $\frac{d\sigma}{dt} = f(t)$ была взята в виде

$\frac{d\sigma}{df} = A e^{-\alpha t}$, где A и α - эмпирически определенные

параметры^{/3/}.

При построении различных распределений параметров реакций и вычисления средних величин вклад события оценивался с весом W , при этом

$$W = W_F \cdot W_t$$

где W_F - вес, учитывающий фазовый объем; вычисляется программой FOWL.

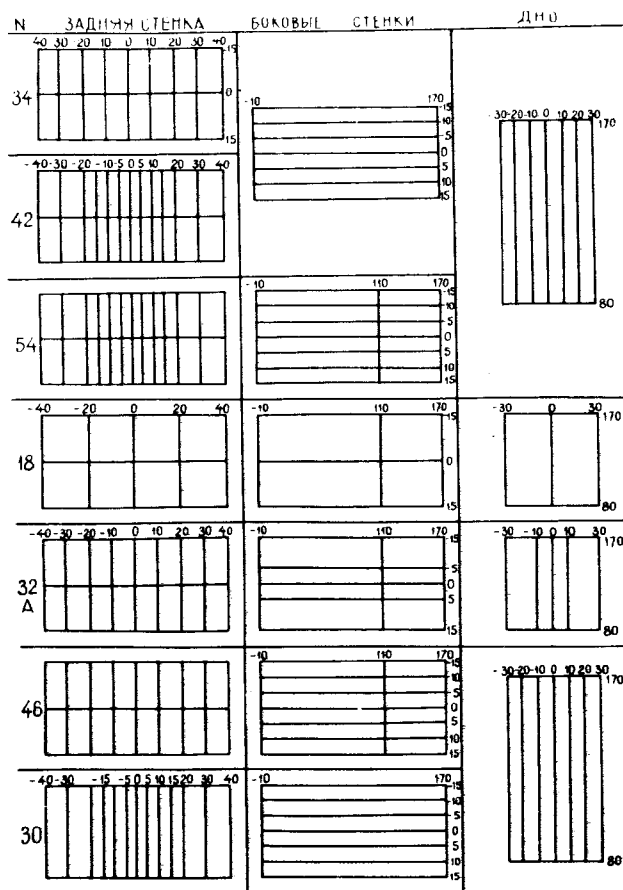


Рис. 4. Системы сцинтилляционных счетчиков /варианты 30-54 счетчиков/.

Введем систему координат, связанную со стримерной камерой, следующим образом. Начало системы координат совместим с началом мишени, ось X направим вдоль пучка падающих частиц, ось Z - вдоль магнитного поля, а ось Y - перпендикулярно плоскости XZ, так чтобы все три оси составили правую систему координат.

Плоскости, соответствующие границам рабочего объема камеры, определяются следующими равенствами:

$$\begin{aligned} X &= -10 \text{ см /передняя стенка/}, \\ X &= 170 \text{ см /задняя стенка/}, \\ Y &= 40 \text{ см} & /12/ \\ & & \text{/боковые стенки/}, \\ Y &= -40 \text{ см} \\ Z &= 15 \text{ см /верхняя стенка/}, \\ Z &= 15 \text{ см /нижняя стенка/}. \end{aligned}$$

Мишень представляет собой цилиндр, ось которого направлена вдоль оси X, и имеет размеры: длину $L = 40 \text{ см}$, радиус $R = 3 \text{ см}$.

Координаты точки взаимодействия падающей частицы с ядрами мишени определялись как

$$X_0 = L_1 \cdot a_1, \quad Y_0 = R \cdot a_2 \sin(2\pi a_3), \quad Z_0 = R a_2 \cos(2\pi a_3),$$

где a_1, a_2, a_3 - случайные числа, равномерно распределенные в интервале $[0,1]$.

Для каждой вторичной заряженной частицы события рассчитывалась траектория движения в магнитном поле, начиная от точки взаимодействия, и находилось ее пересечение с границами рабочего объема камеры. При расчете траекторий делался ряд упрощений: 1/ магнитное поле по всему объему камеры считалось постоянным и равным 15 кГс ; 2/ не учитывались потери энергии частиц при прохождении вещества камеры; 3/ не учитывалось многократное рассеяние частиц в веществе; 4/ пренебрегалось ядерным взаимодействием вторичных частиц в объеме камеры.

Сделанные упрощения не влияют существенно образом на конечный результат, поскольку неоднородность магнитного поля в объеме камеры невелика $[\pm 5\%]$

и эффекты ионизационных потерь, многократного рассеяния и вторичных взаимодействий в неон-гелиевой смеси, заполняющей камеру, пренебрежимо малы.

Траектория заряженной частицы с учетом перечисленных выше допущений опишется следующей системой уравнений /винтовая линия/.

$$\begin{aligned} X &= X_c + R \cos(\omega t + \alpha), \\ Y &= Y_c + R \sin(\omega t + \alpha), \\ Z &= Z_c + V_z \cdot t, & /14/ \end{aligned}$$

где $R = \frac{cp_t}{eH}$ - радиус кривизны, p_t - проекция импульса на плоскость XOY, H - напряженность магнитного поля, c - скорость света, e - заряд частицы; X_c, Y_c, Z_c - координаты центра кривизны:

$$X_c = X_0 - R \cos \alpha, \quad Y_c = Y_0 - R \sin \alpha, \quad Z_c = Z_0;$$

X_0, Y_0, Z_0 - координаты точки взаимодействия,

$\omega = \frac{eH}{mc}$ - угловая скорость, m - масса частицы,

α - начальная фаза:

$$\alpha = \begin{cases} 2\pi - \gamma + (a-1) \frac{\pi}{2} & \ell > 0, \quad m > 0, \\ \pi + \gamma + (a-1) \frac{\pi}{2} & \ell > 0, \quad m < 0, \\ \gamma - (a-1) \frac{\pi}{2} & \ell < 0, \quad m > 0, \\ \pi - \gamma - (a-1) \frac{\pi}{2} & \ell < 0, \quad m < 0, \end{cases}$$

$\gamma = \arctg |\ell / m|$, $\ell = \frac{p_x}{p}$, $m = \frac{p_y}{p}$ - направляющие косинусы,

$a = \begin{cases} +1 & \text{для положительно заряженных частиц,} \\ -1 & \text{для отрицательно заряженных частиц;} \end{cases}$

t - время, V_z - вертикальная составляющая скорости частицы.

Подставляя в уравнение /14/ координаты плоскостей /12/, получаем 6 значений t , наименьшее из которых t_{\min} соответствует пересечению траектории с ближайшей плоскостью. Подставляя t_{\min} в /14/, получаем координаты точки пересечения. Проверив неравенства /13/ для каждого счетчика, определяем номер счетчика, в который попала частица.

Заполняем таблицу состояния регистрации частиц системой счетчиков δ_{ij} и определенным счетчиком γ_{kj} , где i - количество счетчиков, в которые попали частицы, k - номер счетчика, j - количество зарегистрированных частиц. Например, δ_{00} - ни в один из счетчиков не попала ни одна частица, δ_{35} - в 3 счетчика попало 5 частиц, $\gamma_{2,3}$ - во 2-й счетчик попали 3 частицы и т.д. Величины δ_{ij} и γ_{kj} принимают значения 0 или W.

После моделирования заданного количества событий (N) определяются вероятности ϵ_{ij} регистрации определенного (j) количества частиц

$$\epsilon_{ij} = \frac{\sum_N \delta_{ij}}{\sum_N W}$$

и вероятности $\bar{\gamma}_{ij}$ регистрации определенного (j) количества частиц данным (k-м) счетчиком:

$$\bar{\gamma}_{kj} = \frac{\sum_N \gamma_{kj}}{\sum_N W}$$

где $\sum_N W$ - сумма весов всех событий.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ

Для каждой из реакций /1/-/11/ было смоделировано по 10 тысяч событий. Полученные величины вероятностей ϵ_{nkl} регистрации n заряженных частиц, об-

разуемых в l -й реакции, системой K счетчиков / K - количество счетчиков в системе / приведены в табл. 1.

Как видно из этой таблицы, для регистрации реакций с двумя заряженными частицами достаточно варианта с 8 счетчиками, а для реакций с 8 заряженными частицами необходима система с 42-54 счетчиками.

Исходя из соображений достаточной универсальности системы сцинтилляционных счетчиков, необходимой для выделения широкого круга реакций типа /1/-/11/, мы остановились на системе из 54 счетчиков как оптимальной для наших исследований. Необходимо отметить, что при выборе системы мы руководствовались не только величинами ϵ_{nkl} , приведенными в табл. 1, но и всей совокупностью рассчитанных величин ϵ_{ij} и γ_{kj} , как описано в пункте 2.

Авторы благодарны сотруднику ЛВЭ Ю.Н.Петухову за обсуждение ряда вопросов, связанных с алгоритмом моделирования; В.А.Цквитая - за участие в начальной стадии работы; сотрудникам ЕрФИ Э.М.Матевосяну, К.М.Авакяну, Г.Ц.Авакяну - за обсуждение результатов работы, а также Ю.А.Будагову и В.Б.Флягину - за постоянное внимание и поддержку.

Таблица 1

Вероятности регистрации / в %/ n заряженных частиц, образуемых в l - й реакции, системой K счетчиков / K - количество счетчиков в системе/ при P_π = 5 и 20 ГэВ/с

n	P _π	l	K															
			8	10	14	18	20	24	28	30	32A	32	34	42	46	54		
2	5	I	29,5	30,6	30,9	30,9	31,2	31,1	31,2	31,2	31,2	31,2	31,3	31,2	31,3			
		20	I	54,1	56,9	57	57	57,1	57,1	55,7	57,1	57,1	57,1	57,3	57,1	57,3		
5	5	I	1,6	1,8	2	2,4	2,5	2,5	2,6	2,5	2,7	2,6	2,6	2,7	2,8	2,9		
		20	I	3,4	5,6	6	6,4	6,5	6,7	7	6,8	7	7	7,3	7,1	7,4		
4	5	I	3	8	10,6	10,8	11	12,5	12,6	12,5	12,6	12,8	13	13,7	13,1	13,8		
		20	I	0,02	0,06	0,17	0,06	0,17	0,19	0,22	0,17	0,19	0,19	0,19	0,27	0,27		
5	5	I	0,04	0,05	0,13	0,09	0,09	0,14	0,14	0,17	0,14	0,14	0,14	0,2	0,2			
		20	I	0,12	0,78	1,3	1,5	1,6	2	2,1	2,1	2,1	2,2	2,3	2,6	2,4	2,6	
6	20	I	0,07	0,63	1,1	1,2	1,3	1,6	1,7	2	1,7	1,8	1,8	2	1,8	2,1		

Таблица 1. Продолжение

n	P _π	l	K															
			8	10	14	18	20	24	28	30	32A	32	34	42	46	54		
5	5	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01		
		20	I	0	0	0	0,003	0,003	0,003	0,003	0,006	0,003	0,006	0,006	0,006	0,012	0,012	
8	20	I	0	0	0,02	0,035	0,12	0,37	0,39	0,13	0,63	0,4	0,4	0,4	0,64	0,65		
		20	I	0	0	0,03	0,1	0,1	0,13	0,17	0,16	0,17	0,19	0,2	0,24	0,21	0,25	
5	5	I	8	10	10	10	10	11	11	11	11	11	11	11	11	11		
		20	I	4,2	4,7	4,8	5,1	5,1	5,2	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,4	5,4	
3	20	I	15,2	24,3	26,5	26,7	26,8	28,5	28,6	27,7	28,6	28,7	28,7	29,5	28,8	29,5		
		20	I	8,5	9,2	9,1	9,5	9,5	9,6	9,8	9,6	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	
5	5	I	0,2	0,2	0,2	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7		
		20	I	0,2	0,2	0,2	0,5	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	
5	20	I	2,1	2,3	3,6	3,9	4,3	5	5,1	5,4	5,1	5,3	5,4	5,8	5,4	5,8		
		20	I	0,57	1,8	2,1	2,2	2,4	2,7	2,8	3,1	2,8	3	3,1	3,3	3,2	3,4	

Таблица 1. Продолжение

п	К																	
	Р	л	8	10	14	18	20	24	28	30	32А	32	34	42	46	54		
7	5	4	0	0	0	0,05	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,1	0,04	0,04	0,04	0,11	0,11	
			4	0	0	0,05	0,02	0,02	0,05	0,05	0,07	0,07	0,05	0,05	0,05	0,09	0,01	0,01
20	3	0	0	0,05	0,3	0,4	0,57	0,8	0,83	0,77	0,86	0,9	0,9	1	0,94	1	0,94	1
			4	0	0,1	0,3	0,32	0,35	0,39	0,43	0,5	0,43	0,44	0,44	0,55	0,47	0,58	0,58
2	5	5	44,1	44,1	44,1	44,2	44,2	44,2	44,2	44,2	44,2	44,2	44,2	44,2	44,2	44,2	44,2	44,2
			20	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
4	5	6	4	4,0	4,1	4,2	5,8	5,8	5,9	6,2	5,8	5,9	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
			20	4	4	4	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
3	5	7	14,3	14,4	14,4	14,4	18	18,1	18,1	18,8	18,1	18,1	18,8	18,1	18,8	18,8	18,8	18,8
			20	7	13,6	13,6	13,6	17,6	17,6	17,6	18,5	17,6	17,6	17,6	18,5	18,5	18,5	18,5
5	5	8	1,2	1,6	1,6	2,1	2,2	2,3	2,5	2,6	2,6	2,6	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	2,8
			20	8	1,7	2,2	2,2	2,3	2,8	3	3,1	3,2	3,0	3,1	3,2	3,5	3,2	3,5

Таблица 1. Продолжение

п	К															
	Р	л	8	10	14	18	20	24	28	30	32А	32	34	42	46	54
3	5	9	16,2	16,2	16,2	16,2	19,3	19,4	19,4	20	19,4	19,4	20	20	20	20
			20	9	15,6	15,8	15,8	19,4	19,4	19,4	20,1	19,4	19,4	20,1	20,1	20,1
3	5	10	28,3	30,5	30,9	31,4	32,1	32,9	33	33,4	33,2	33	33,2	33,7	33,4	33,7
			20	10	21,5	25,4	25,5	25,5	25,8	25,8	24,2	25,8	25,8	25,8	25,8	26,8
3	5	11	18	18	19	19	22	22	22	22	21,9	21,9	22,5	22,5	22,5	22,5
			20	11	18,7	19	19,2	23,4	23,5	23,6	24,3	23,6	23,6	24,3	24,4	24,4

ЛИТЕРАТУРА

1. Акименко С.А. и др. ОИЯИ, 1-8948, Дубна, 1975.
2. James F. FOWL, CERN Program Library, W505.
3. $\pi^+ n$ and $\pi^+ d$ Interactions - A Compilation: Parts I and II. LBL-53, 1973.

Рукопись поступила в издательский отдел
10 октября 1977 года.