

С 346.54
В-555

24/10/45 ✓

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P-2257



ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

В.Ф.Вишневский, Ду Юань-цай, В.И.Мороз,
А.В.Никитин, Ю.А.Троян, Цзян Шао-цзюнь,
Чжан Вэнь-юй, Б.А.Шахбазян, Янь У-гуан

УПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ Λ -ГИПЕРОНОВ
СО СРЕДНИМ ИМПУЛЬСОМ 2,7 ГЭВ/С
НА ПРОТОНАХ

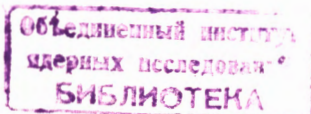
1965

P-2257

В.Ф.Вишневский, Ду Юань-цай, В.И.Мороз,
А.В.Никитин, Ю.А.Троян, Цзян Шао-цзюнь,
Чжан Вэнь-юй, Б.А.Шахбазян, Янь У-гуан

УПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ Λ -ГИПЕРОНОВ
СО СРЕДНИМ ИМПУЛЬСОМ 2,7 ГЭВ/С
НА ПРОТОНАХ

Направлено в журнал "Ядерная физика"



3473/2 чр.

В в е д е н и е

Известные в литературе экспериментальные данные по упругому рассеянию Λ -гиперонов на протонах^{/1-8/} основаны в настоящее время всего лишь на 280 случаях, обнаруженных в пузырьковых камерах. Статистическое обеспечение результатов в каждой из указанных работ мало, а разброс точек в целом велик. К тому же подавляющая часть всех случаев относится к области $P_{\Lambda} \leq 1$ Гэв/с и совершенно нет данных для области $P_{\Lambda} > 2$ Гэв/с. В теории пока тоже нет достаточно точных и детальных исследований, что, возможно, в какой-то мере может быть объяснено отсутствием стимулирующего влияния эксперимента.

Для получения более надежных и полных экспериментальных характеристик упругого ΛP рассеяния необходимо увеличить статистический материал в районе уже освоенных энергий и получить, вначале хотя бы предварительные, данные, относящиеся к области существенно более высоких энергий. С этой целью мы использовали снимки, полученные при облучении нейтронами с энергией от 2 до 10 Гэв 24-литровой пропановой пузырьковой камеры^{/8/}, помещенной в постоянное магнитное поле напряженностью 15200 гаусс.

Отбор и обработка событий

Отбор лужных событий на пленках производился визуально. Примерно четверть всех пленок была просмотрена с помощью стереолуп, остальные - на репроекторах. Измерение следов на снимках производилось с помощью полуавтоматов^{/10/}, а подсчет - на электронно-счетной машине по ранее описанной схеме^{/11/}.

Каждый след в отобранных событиях дважды измерялся и обсчитывался по геометрической программе. Затем событие в целом также дважды обсчитывалось по соответствующей программе или программам идентификации. В случаях, когда результаты (с учетом ошибок) не совпадали, производились дополнительные измерения.

Сечение упругого рассеяния Λ -гиперонов на протонах, усредненное по импульсному интервалу, вычислялось по формуле:

$$\bar{\sigma} = \frac{\epsilon_{\Lambda_p} \sum_{i=1}^{N_{\Lambda_p}} W_{\Lambda_{pi}}}{n \epsilon_{\Lambda_p} \frac{r_{0\Lambda}}{m_{\Lambda}} \left(\sum_{j=1}^{N_{\Lambda}} P_{\Lambda_j} + \bar{P}_{\Lambda(\Lambda_k)} N_{\Lambda(\Lambda_k)} \right)},$$

где $W_{\Lambda_{pi}}$ - вес отдельного события, N_{Λ_p} - число обнаруженных случаев и ϵ_{Λ_p} - эффективность отбора случаев образования и рассеяния Λ -гиперонов в эффективной области камеры; P_{Λ_j} - импульс, N_{Λ} - число и ϵ_{Λ} - эффективность отбора Λ -гиперонов, возникших и распавшихся в эффективной области камеры; $\bar{P}_{\Lambda(\Lambda_k)}$ - средний импульс и $N_{\Lambda(\Lambda_k)}$ - определенное статистически число Λ -гиперонов в неразделенных (Λ или K_1^0) случаях образования и распада Λ -гиперонов в пределах эффективной области камеры; m_{Λ} - масса и $r_{0\Lambda}$ - среднее время жизни Λ -гиперона, c - скорость света и $n = 4,7 \cdot 10^{22}$ - число ядер водорода в см³ пропана.

Отбор случаев упругого Λp рассеяния производился в два этапа: сначала (для другой работы, выполняющейся в нашей группе) отбирались снимки, содержащие компланарные конфигурации из двух элементов, характеризующих упругое рассеяние, - протона отдачи и "вилки" от распада Λ -гиперона или K_1^0 -мезона. Такие конфигурации мы будем называть далее VP событиями. Затем (второй этап) на каждом отобранном снимке в пределах угла, определяемого направлениями протона отдачи и рассеявшейся частицы, искалась компланарная звезда.

Всего для отбора случаев рассеяния было просмотрено 116 тысяч снимков, причем событий типа VP было обнаружено более 1500. Все они обсчитывались по программе^{12/}, предназначенной для проверки методом χ^2 (пять параметров, из них три независимых) гипотезы о распаде в точке, соответствующей вершине "вилки", Λ -гиперона или K_1^0 -мезона, летящего в направлении, определяемом (в данном случае) точкой вылета частицы, принимаемой за протон отдачи, и вершиной "вилки". На основе полученного таким образом материала были построены распределения по χ^2 , углу компланарности η (который не входил в программу идентификации) и величине $(\eta/\lambda\eta)^2$. В соответствии с указанными распределениями были определены критерии отбора по χ^2 и компланарности.

На первом этапе отбора было важно уменьшить по возможности фон, сохраняя при этом полностью "хорошие" события, поэтому в качестве доверительного было выбрано значение $\chi^2 < 15$, что соответствует отбору практически 100% событий. Событие было принято считать компланарным, когда выполнялись условия:

- $\eta \ell < 0,2$ см, если распадный пробег $\ell < 2$ см, или $\eta \leq 0,08$ рад, если $\ell \geq 2$ см;
- $(\eta/\Delta\eta)^2 \leq 4$.

Из всех отобранных при просмотре событий типа VP указанным критериям удовлетворяло более 500 случаев, которые были идентифицированы как Λ -гипероны или K_1^0 -мезоны.

Эффективный объем камеры, вообще говоря, должен определяться в данном случае минимальной длиной пробега протонов отдачи и продуктов распада Λ -гиперонов, которую нужно обеспечить, чтобы с достаточной степенью точности определять параметры, необходимые для идентификации распадов. В принципе эта длина в ряде событий должна быть довольно большой, и приняв соответствующие ей границы, мы слишком сильно ограничили бы эффективный объем камеры. Поэтому на основе распределения точек распада в объеме камеры, построенного по идентифицированным событиям типа VP , были определены некие оптимальные границы. Указанные распределения по осям x, y, z и выбранные нами границы эффективной области по каждой оси показаны на рис. 1.

Событий типа VP , идентифицированных как Λ -гипероны или K_1^0 -мезоны, в пределах границ эффективной области оказалось около 500. По этим случаям были определены оценки эффективности отбора событий типа VP при просмотре, которые дали величину 83%.

Событий типа VP , идентифицированных как Λ -гипероны или K_1^0 -мезоны, с компланарными звездами было найдено на втором этапе отбора более 100. Такие случаи обсчитывались затем по программе, предназначенной для проверки методом χ^2 (девять параметров из них 6 независимых) гипотезы о возникновении Λ -гиперона или K_1^0 -мезона в определенной точке ("звезда"), последующем упругом рассеянии на протоне (в точке вылета частицы, принимаемой за протон отдачи) и распаде в точке, соответствующей вершине "вилки". В качестве граничного было выбрано значение $\chi^2 = 17$, которое обеспечивало отбор 88% случаев упругого ΛP рассеяния.

Эффективность поиска компланарных звезд на втором этапе отбора случаев упругого ΛP рассеяния оказалась практически равной единице. Таким образом, полная эффективность определялась, по существу, эффективностью отбора на первом этапе.

Отбор случаев образования и распада Λ -гиперонов в камере производился на 9860 снимках, причем пленки с указанными снимками были распределены равномерно по всему материалу, чтобы исключить по возможности влияние таких факторов, как флуктуации в интенсивности пучка (мониторирование не производилось) и энергетическом спектре нейтронов. Отбирались конфигурации, содержащие "вилку" от распада Λ -гиперона или K_1^0 -мезона и компланарную звезду любого типа, расположенную в пределах угла раствора, определяемого направлениями вылета частиц "вилки". События этого типа обсчитывались и идентифицировались как и события типа VP , однако

(поскольку нужно было исключить по возможности фон) доверительный интервал был несколько сужен. В соответствии с экспериментальным распределением событий по χ^2 в качестве граничного было принято значение $\chi^2 = 10$.

Результаты и обсуждение результатов

Всего описанным выше способом было найдено 12 случаев упругого рассеяния Λ -гиперонов на протонах, у которых точки образования, рассеяния и распада после рассеяния располагались в пределах эффективной области камеры. Основные параметры, характеризующие каждое такое событие в отдельности, представлены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Параметры, характеризующие случаи рассеяния Λ -гиперонов

	Импульс Λ -гиперона		$\cos \theta_{\Lambda}^*$
	до рассеяния	' После рассеяния	
1	2342+149	2206+83	0,834
2	4754+819	1030+132	-0,791
3	4536+217	4507+128	0,984
4	2484+241	1162+86	-0,390
5	2603+271	2471+89	0,859
6	2391+454	490+84	-0,873
7	844+88	848+40	0,852
8	2696+190	1184+91	-0,438
9	2813+172	1918+93	0,124
10	1804+140	1371+68	0,294
11	1131+30	1048+47	0,738
12	1663+110	1448+64	0,805

Каждое из этих 12 событий при вычислении сечения входило в расчет с весом, определяемым вероятностью распада рассеянного Λ -гиперона в пределах эффективной области, вероятностью рассеяния на малые углы (когда протон отдачи получает настолько малый импульс, что не может быть зарегистрирован) и вероятностью рассеяния на большие углы (когда импульс Λ -гиперона и, следовательно, импульс распадного протона в лабораторной системе мал и не может быть обнаружена распадная вилка). Вероятность распада в каждом конкретном случае определялась по потенциальному пробегу и усреднялась по углу вращения вокруг направления движения Λ -гиперона до рассеяния.

Уточнение весов путем усреднения по остальным параметрам, определяющим событие, оказалось нецелесообразным. Разработанным в нашей группе методом^{13/} было показано, что в результате такого пренебрежения дисперсия увеличилась лишь настолько, насколько она может возрасти, если уменьшить на 2% число входящих в расчет наблюдаемых случаев. Средний импульс рассеянных Λ -гиперонов $\bar{P}_{\Lambda p}$, вычисленный с учетом весов по представленным в таблице 1 случаям, оказался равным $2,8 \pm 1,2$ Гэв/c. Отметим, что вычисления, произведенные должным образом по данным для Λ -гиперонов потока, дали значение $\bar{P}_{\Lambda p} = 2,8 \pm 1,2$ Гэв/c. Мы принимаем в качестве усредненно-го значения $\bar{P}_{\Lambda p} = 2,7 \pm 1,2$ Гэв/c.

Далее, в эффективной области камеры (на 9860 снимках) оказалось 322 события, соответствующего критериям отбора случаев возникновения и распада Λ -гиперонов или K_1^0 -мезонов. Те из них, которые соответствовали и Λ -гиперонам и K_1^0 -мезонам, анализировались дополнительно, в частности, по ионизации и δ -электронам, производимым положительными следами вилки. В конечном итоге было получено 107 Λ -гиперонов и 132 K_1^0 -мезона. Остальные 83 события оказалось возможным разделить на Λ -гипероны и K_1^0 -мезоны только статистически. С этой целью, в частности, было использовано сопоставление распределения протонов от распада Λ -гиперонов и π^+ -мезонов от распада K_1^0 -мезонов по углу вылета в системе покоя распадающихся частиц с соответствующим распределением положительных частиц у вилки в неразделенных событиях, полученных в предположении, что все неопределенные события являются Λ -гиперонами, в одном случае, и K_1^0 -мезонами - в другом. Полагая, что угловое распределение в обоих случаях должно быть изотропным, мы получили, что 93% случаев неопределенной группы, то есть 78 событий, относятся к Λ -гиперонам, и 7%, то есть 5 случаев, должны быть K_1^0 -мезонами.

Эффективность отбора Λ и K_1^0 -событий, вычисленная по всем идентифицированным событиям, оказалась равной 94%.

Если теперь, основываясь на приведенных выше данных, вычислить сечение упругого рассеяния Λ -гиперонов на протонах, то получим 16 ± 4 мб. Однако это значение не учитывает возможный фон, поэтому требуется уточнение.

Фон может иметь место как при отборе случаев упругого рассеяния, так и при отборе случаев распада нерассеявшихся Λ^0 -гиперонов. Нами рассматривалась возможность появления фона за счет случайного наложения генетически не связанных между собой событий или связанных только наполовину, за счет фоновых реакций и рассеяния на квазисвободных протонах ядра углерода. Имитировать случаи упругого рассеяния могут наложения таких случайных элементов и (или) фоновые реакции, как:

а) нейтральная звезда, протон, вызванный каким-либо образом случайным или

вторичным нейтроном, и "вилка" от распада Λ -гиперона, возникшего вне пределов камеры, или двухлучевая звезда, которая с определенной вероятностью может имитировать распад Λ -гиперона;

б) нейтральная звезда, "вилка" от распада возникшего в ней Λ -гиперона или двухлучевая звезда, вызванная вторичным нейтроном, и случайная однолучевая звезда;

в) нейтральная звезда и случайное или вызванное вторичным нейтроном событие типа νp .

Комбинации типа а) и б), по нашим оценкам, выполненным на основе данных, полученных непосредственно по снимкам, могут дать фон заведомо меньше 1%. Фон от комбинаций типа в) может составить уже $\sim 3\%$. Наконец, реакция типа $\Lambda + p \rightarrow \Sigma^0 + p$ с последующим распадом $\Sigma^0 \rightarrow \Lambda + \gamma$ может дать фон $\sim 1\%$. Таким образом, в целом фон может составить величину $\sim 5\%$. Однако фон, который имеет место при определении потока Λ -гиперонов за счет наложений звезд или звезд и "вилки" от распада Λ -гиперонов, возникших вне камеры, составляет по нашим данным величину $\sim 6\%$. Таким образом, фон за счет случайных наложений и фоновых реакций, указанных выше, практически не сказывается на величине сечения.

Существенно более важным является рассеяние Λ -гиперонов на квазисвободных протонах ядра углерода. Арбузов и др.^{/3/} и более обстоятельно Гровз^{/4/} оценили вклад таких событий при работе с пропаном в $10 \pm 5\%$. Принимая эту оценку, хотя средний импульс Λ -гиперонов в нашей работе в три раза больше чем у Гровза (в остальном условия опытов сходные), мы получили усредненное по импульсам сечение упругого рассеяния Λ -гиперонов со средним импульсом $p_{\Lambda p} = 2,7 \pm 1,2$ Гэв/с на протонах равное

$$\bar{\sigma} = 15 \pm 4 \text{ мб.}$$

На рис. 2 это значение представлено для сравнения вместе с данными, полученными и вычисленными для более низких энергий в цитированных выше работах^{/1-3/}. На этом же рисунке представлены кривые, вычисленные Александром и др.^{/14/} для области более высоких энергий в предположении, что упругое Λp рассеяние обусловлено обменом либо только K^* -мезоном, либо только ω -мезоном. Некорректность этих вычислений отмечалась самими авторами (обмен только одной частицей, нарушение некоторых общих принципов теории, произвол в выборе констант и др.), тем не менее, если сравнивать полученное нами значение $\bar{\sigma}_{\Lambda p}$ с расчетной кривой (других расчетов для этой области энергий в литературе нет), следует, по-видимому, отдать предпочтение обмену ω -мезоном. Свидетельством в пользу такого заключения служит и то обстоятельство, что в системе центра масс преимущественным (см. рис. 3)

является, скорее всего, рассеяние Λ -гиперонов вперед, что соответствует обмену ω -мезоном и не согласуется с обменом K^* -мезоном.

Эти выводы, естественно, имеют характер указаний (поскольку статистические ошибки в наших данных относительно велики, а указанные выше расчеты некорректны) и требуют уточнений.

В заключение выражаем благодарность В.И.Векслеру, по инициативе которого было произведено облучение нейтронами и выполнена данная работа, М.И.Соловьеву и А.А.Кузнецову за помощь при облучении, Г.Г.Мкртчяну и лаборантам И.Г.Кондратьевой, В.П.Соломахиной, А.М.Сосульниковой, М.И.Филипповой, М.И.Чикларовой, выполнившим основную часть технической работы, а также всем другим сотрудникам ЛВЭ ОИЯИ, оказавшим помощь в работе.

Л и т е р а т у р а

1. F.S. Grawford, M. Cresti, M. L. Good, F.T. Solmitz, M.L. Stevenson and H.K. Ticho. Phys. Rev. Lett., 2 (4) 174 (1959).
2. G.Alexander, J.Anderson, F. Grawford, L.Lloyd, W. Laskar. Phys. Rev. Lett., 7 (9) 348 (1961).
3. Б.А. Арбузов, Е.Н.Кладницкая, В.Н.Пенев, Р.Н.Фаустов. ЖЭТФ, 42, 979 (1962).
4. T.H. Groves. Phys. Rev., 129 (3) 1372 (1963).
5. L.Piekenbrock and F.Oppenheimer. Phys. Rev. Lett., 12 (22) 625 (1964).
6. B.Sechi-Zom, R.A. Burnstein, T.B. Day, B.Kehoe and G.A.Snow. Phys. Rev. Lett., 13(8) 282 (1964).
7. G.Alexander, U.Karshon, A. Shapira, G.Yekutieli, K.Engelmann, H.Filthuth, A.Fridmann and A.Minguzzi-Ranz. Phys. Rev. Lett., 13 (15) 484 (1964).
8. P.Beilliere, J.L. Gomez, A.Leoret, A.Rousset, K.Myklebost, J.M.Olsen. Phys. Lett., 12 (4) 350 (1964).
9. Ван Ган-чан, М.И.Соловьев, Ю.Н.Шкобин. ПТЭ, 1, 41 (1959).
10. В.Я.Алмазов, И.А.Голутвин, В.Д.Инкин, Ю.А.Каржавин, В.Д.Неустроев, В.Д.Степанов. Препринт ОИЯИ 1352, Дубна 1963.
11. В.Ф.Вишневский, Ду Юань-пай, А.Ф.Лукьянцев, В.И.Мороз, А.В.Никитин, Г.Н.Тентюкова, Ю.А.Троян, Цзян Шао-цзюан, Чжан Вень-юй, Б.А.Шахбазян, Янь У-гуан. Препринт ОИЯИ Р-1468, Дубна 1963.
12. О.Благодирова, Л.Лепилова, А.Лукьянцев, Г.Тентюкова, В.Мороз, А.Никитин, Б.Шахбазян, Янь У-гуан. Препринт ОИЯИ 1989, Дубна 1965.
13. В.Ф.Вишневский, В.И.Мороз, Б.А.Шахбазян, Янь У-гуан. Препринт ОИЯИ Р-2215, Дубна 1965, ПТЭ (в печати).
14. G.Alexander, A.Fridman and E. Gotsman. Nuovo Cim., 36, 1, 189 (1965).

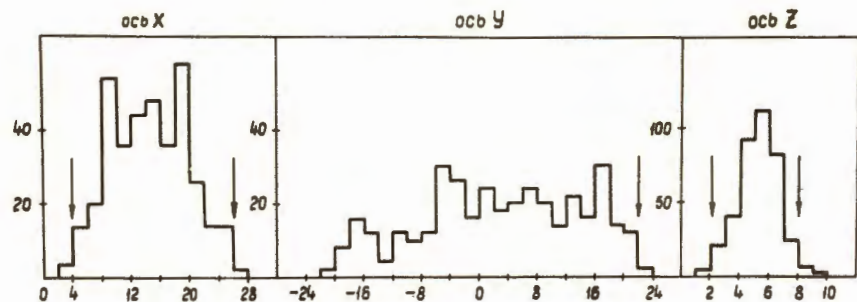


Рис. 1. Распределение координат точек распадов Λ -гиперонов и K_1^0 -мезонов в событиях типа VP и оптимальные границы эффективной области камеры (указаны стрелками).

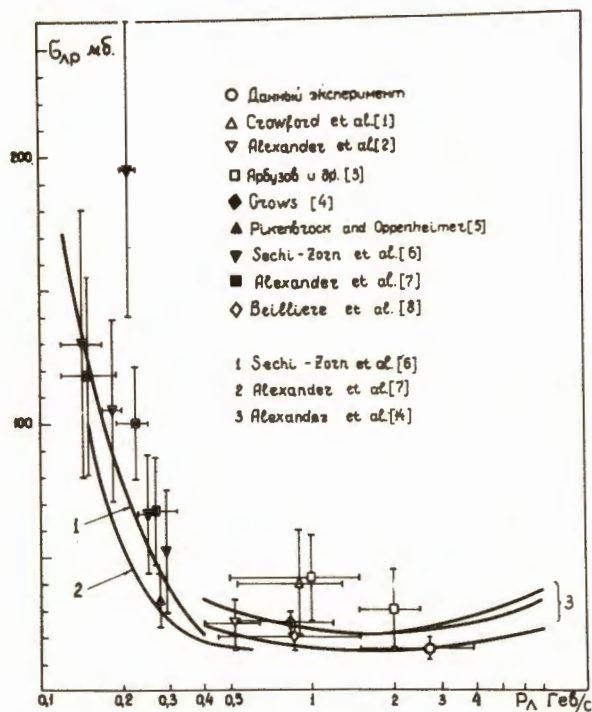


Рис. 2. Сравнение экспериментальных данных и теоретических кривых для сечения упругого Λp рассеяния. Верхняя кривая 3 - для обмена K^* , нижняя - для обмена ω -мезоном

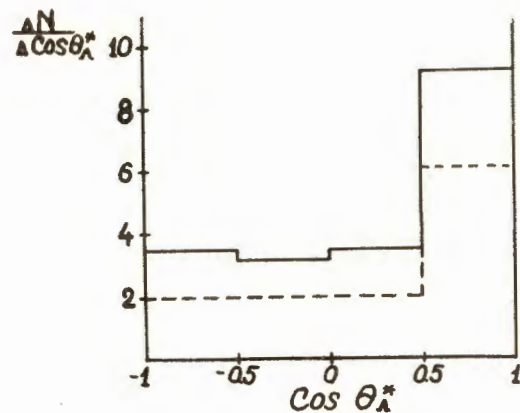


Рис. 3. Угловое распределение упруго рассеянных Λ -гиперонов в системе центра масс Λp . Сплошная кривая - распределение с учетом веса события, пунктирная кривая - наблюдавшиеся случаи.

Рукопись поступила в издательский отдел
7 июля 1985 г.