

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

Б289

P1-87-340

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ СЕЧЕНИЙ
В dd -ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ 12 ГэВ/с

1987

Б.В.Батюня, И.В.Богуславский, Д.Брунцко, И.М.Граменицкий,
Р.Ледницки, К.С.Медведь, В.В.Ужинский, С.Ю.Шмаков
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Е.Балеа, К.Кока
Центральный институт физики, Бухарест

Н.М.Агабабян, Н.Б.Дашьян, А.Р.Каценян, Э.А.Киракосян
Ереванский физический институт, Ереван

П.Муринь
Институт экспериментальной физики Словацкой АН, Кошице

Л.К.Гладилин, О.В.Гришина, Р.Н.Дементьев, Е.М.Лейкин,
Н.П.Новокшанов, Н.А.Пожидаева, В.П.Руковичкин, Л.А.Тихонова
Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, Москва

Л.С.Баранов, С.В.Левонян
Физический институт им. П.Н.Лебедева АН СССР, Москва

И.Вавра, И.Геринек, М.Локаичек, В.Шимак
Физический институт ЧСАН, Прага

А.Валкарова, Р.Лейтнер, П.Староба, М.Сук
Ядерный центр Карлова Университета, Прага

З.Златанов, Х.Каназирски
Высший химико-технологический институт, София

1. В настоящей работе определяются топологические сечения неупругих dd -взаимодействий при 12 ГэВ/с. Значительное внимание при этом уделяется методическим проблемам, связанным с выделением неупругих dd -взаимодействий разных топологий с учетом некоторых поправок. В том числе описана процедура вычисления сечений /полного, упругого и квазиупругого процессов/ в рамках модели Глаубера, необходимых для общей нормировки и учета вклада видимой части упругих и квазиупругих событий в 1- и 2-лучевых взаимодействиях.

2. Экспериментальный материал получен при облучении жидководородной пузырьковой камеры "Людмила" с внутренней трекочувствительной дейтериевой мишенью ¹/сепарированным пучком дейтронов с импульсом 12,2 ГэВ/с и разбросом импульсов $\Delta p/p \approx \pm 1\%$. Примесь адронов в пучке не превышала $3\%^{1/2}$.

При просмотре регистрировались взаимодействия внутри рабочего объема мишени /80x16x6/ см³ с произвольным числом вторичных заряженных частиц. Для каждого события проверялось наличие быстрого в лабораторной системе протона-спектратора, а также положительного трека, вылетающего в заднюю полусферу и остающегося в рабочем объеме мишени без распада. Быстрые протоны-спектраторы отбирались с помощью специального шаблона по следующим критериям:

$$4,8 \text{ ГэВ/с} \leq p_s \leq 7,4 \text{ ГэВ/с}; \quad |\theta_s| \leq 2,5^\circ,$$

где p_s - импульс протонов-спектраторов, а θ_s - угол вылета относительно направления первичного пучка, что соответствует ограничению на импульс спектратора $p_s \leq 0,25 \text{ ГэВ/с}$ в системе налетающего дейтрона. Остановки в задней полусфере /в л.с.к./ интерпретировались как видимые протоны-спектраторы из дейтрона-мишени. При просмотре регистрировались вторичные взаимодействия, нейтральные звезды, γ -кванты /по конверсии $\gamma \rightarrow e^+e^-$ /, V^0 -частицы и пары Далитца. Небольшая часть событий была измерена для определения спектров импульсов и длин пробега останавливающихся протонов, а также расстояний от вершин вторичных взаимодействий до вершин первичного взаимодействия /см. ниже, рис. 1 и 2/. Просмотр фотографий проводился дважды. Всего просмотре-

но ~ 38000 стереокадров, на которых было зарегистрировано 26344 события dd -взаимодействий. Эффективность двойного просмотра составила 90,1%, 96,5%, 99,1% для 1-, 2- и ≥ 3 -лучевых событий соответственно. Эффективность обнаружения событий с быстрым протоном-спектатором соответственно равнялась 72,7%, 85,5% и 89,7%. Число событий каждой топологии с поправкой на эффективность просмотра приведено во втором столбце табл.1.

Таблица 1

Число событий, найденных при просмотре, в зависимости от множественности с соответствующими поправками

n_{ch}	Число событий, найденных при просмотре	Стандартные поправки	Число упругих и квазиупругих событий	Число событий с учетом поправок
1	1828+73	10,7+4,0	1976+127	1922+316*
2	10400+142	100 +29	4963+316	5537+348
3	3731+78	2+7		3733+78
4	8086+108	85+23		8171+110
5	1049+38	-85+24		964+45
6	1692+48	-45+13		1647+50
7	104+12	-40+10		64+16
8	156+15	-18+6		138+16
9	6+2,5	-3+2		3,0+3,2
10	12+3,5	-2+2		10,0+4,0
Все:	27064+214			22189+494

* Эта величина определена методом, описанным в 3.2.

3. Далее, для получения распределений по множественности заряженных частиц в неупругих dd -взаимодействиях необходимо внести следующие поправки:

а/ "стандартные" поправки, не зависящие от природы пучка и мишени;

б/ поправки, учитывающие упругие и квазиупругие dd -взаимодействия;

в/ систематические потери в 1-лучевых событиях.

3.1. "Стандартные" поправки

Эти поправки связаны с учетом искажений, вносимых в результат просмотра вторичными взаимодействиями, нейтральными звездами, V^0 -частицами и конверсией γ -квантов, произошедшими

вблизи вершины первичного взаимодействия, а также не идентифицированными парами Далитца. V^0 -частицы, γ -кванты и пары Далитца переводят событие из топологии n_{ch} в $n_{ch} + 2$. Что касается вторичных взаимодействий и нейтральных звезд, считалось, что искажения, вносимые ими, увеличивают топологию либо на 1 /2-лучевые вторичные взаимодействия/, либо на 2 /3-лучевые вторичные взаимодействия/, либо на 3 /3-лучевые нейтральные звезды/. При этом использовалось распределение по множественности в зарегистрированных взаимодействиях и нейтральных звездах.

На основе распределения по расстоянию до вершин вторичных взаимодействий /рис. 1/ было определено, что эффективное расстояние, ближе которого начинаются потери всех вторичных вершин, составляет в среднем $2,0 \pm 0,5$ см*. Исходя из этого для событий всех множественностей были определены поправки, связанные со вторичными взаимодействиями, нейтральными звездами, γ -квантами и V^0 -частицами.

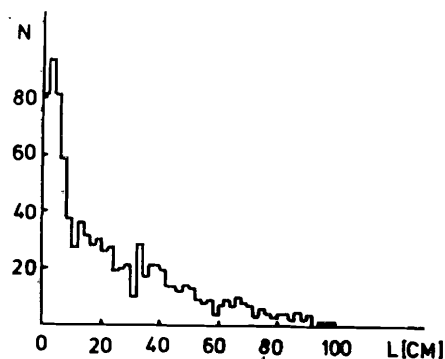


Рис. 1. Распределение расстояний от вершин вторичных взаимодействий до первичной вершины.

Для определения числа не идентифицированных пар Далитца считалось, что среднее число π^0 -мезонов в dd -взаимодействиях не зависит от множественности заряженных частиц $/n_{ch} /$ и равно половине среднего числа π^{\pm} -мезонов. В таком случае,

учитывая, что в dd -взаимодействиях среднее число протонов $/\langle n_p \rangle /$ равно двум, имеем

$$\langle n_{\pi^0} \rangle^{dd} = \frac{1}{2} (\langle n_{\pi^+} \rangle + \langle n_{\pi^-} \rangle) = \frac{1}{2} (\langle n_{ch} \rangle - \langle n_p \rangle) = 0,78 \pm 0,02. /1/$$

Значение $\langle n_{ch} \rangle = 3,56$ для dd -взаимодействий в выражении /1/ было получено из известных значений средних множественностей pp^- , pn^- , pn^- и pr^- -взаимодействий в предположении, что вклад этих процессов в dd -взаимодействия равновероятен.

* Предполагалось, что эта величина одинакова для вторичных взаимодействий, γ -квантов, V^0 -частиц и нейтральных звезд.

Все перечисленные выше поправки приведены в третьем столбце таблицы 1.

3.2. Упругие и квазиупругие процессы

Для извлечения из экспериментальных данных характеристик неупругих dd -взаимодействий, то есть процессов с образованием новых частиц в конечном состоянии /кроме нуклонов, входящих в дейтроны/, необходимо сделать поправки в сечениях 1- и 2-лучевых событий на видимую часть упругого и квазиупругих каналов:

$$dd \rightarrow dd, \quad dd \rightarrow dpn, \quad dd \rightarrow ppnn. \quad /2/$$

Поскольку экспериментальные данные о сечениях этих каналов отсутствуют, были выполнены теоретические расчеты в глауберовском приближении /3а,б./ по методу работы /3 в./ с параметризацией амплитуд рассеяния и формфактора дейтрона, приведенной в приложении. В табл. 2 приведены значения полных (σ_{tot}), упругих (σ_{el}), неупругих (σ_{nr}) сечений и суммарных сечений (σ_{sc}) процессов /2/, рассчитанных для формфакторов /П1а/-/П1в/. Из табл. 2 видно, что заметная разница наблюдается только для упругого сечения и формфактора /П1а/. Дальнейшие расчеты проводились для окончательно выбранного формфактора /П1в/ /см. приложение/. Для нахождения видимой части каналов /2/ использовались дифференциальные распределения по модулю импульса в л.с.к. / p_d и p_p / дейтронов и протонов, полученные в результате преобразования рассчитанных в модели распределений по квадрату переданного импульса /дейтрону или протону/. Граничные значения импульсов $p_{d0} = /190 \pm 8/$ МэВ/с и $p_{p0} = /110 \pm 5/$ МэВ/с, начиная с которых медленные дейтроны и протоны регистрируются в камере без потерь, определялись на основании граничного значения длины пробега $l_0 \approx 0,4$ см, отделяющего область потерь в распределении по длине пробега /рис. 2/. Значения полных сече-

Таблица 2

Полное σ_{tot} /, упругое σ_{el} /, неупругое σ_{nr} / сечения и сечение рассеяния σ_{sc} / для dd -взаимодействий при 12,2 ГэВ/с, рассчитанные по модели Глаубера с использованием формфакторов /П1а/-/П1в/

Формфактор	$\sigma(dd)$ [мб]	П1а	П1б	П1в
σ_{tot}		148,0	148,9	149,0 \pm 1,2
σ_{el}		27,5	20,3	19,0 \pm 1,2
σ_{nr}		97,5	98,9	98,8 \pm 2,4
σ_{sc}		50,5	50,0	50,2 \pm 1,9

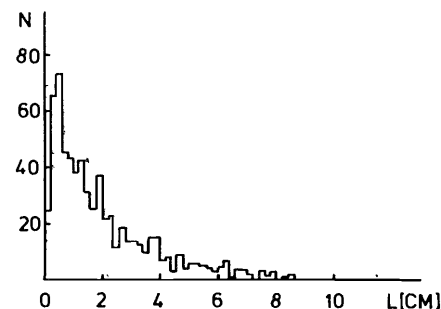


Рис. 2. Распределение медленных останавливающихся треков по длине пробега.

ний отдельных каналов /2/ и сечений этих каналов в 1- и 2-лучевых событиях с учетом потерь в последних приведены в табл.3. Процессы, указанные в 2-й и 3-й строках табл.3, отличаются развалом соответственно медленного или быстрого дейтрона. В послед-

ней строке таблицы символом scatt /от scattering/ обозначена сумма упругого и квазиупругого процессов.

Таблица 3

Расчетные значения сечений упругого и квазиупругих процессов /в мб/

Сечения/мб/	Полные	Потери	1-лучевые	2-лучевые видимые
Процесс				
$dd \rightarrow dd$	19,0 \pm 1,2	16,8 \pm 1,3	-	2,2 \pm 0,5
$dd \rightarrow dpn$	6,4 \pm 0,5	2,5 \pm 0,3	-	3,9 \pm 0,4
$dd \rightarrow pnd$	6,4 \pm 0,5	-	2,4 \pm 0,2	4,0 \pm 0,3
$dd \rightarrow pnpn$	18,4 \pm 2,2	-	6,4 \pm 0,4	12,0 \pm 1,0
$dd \rightarrow scatt$	50,2 \pm 1,9	19,3 \pm 1,3	8,8 \pm 0,4	22,1 \pm 1,2

3.3. Определение числа 1-лучевых событий

Проводимые ранее камерные эксперименты указывают на значительные систематические потери 1-лучевых событий из-за трудности нахождения их при просмотре. Поэтому для определения числа этих событий использовалась информация о найденных 2-лучевых взаимодействиях с медленными останавливающимися в камере протонами, вылетающими в заднюю /в л.с.к./ полусферу. Такие протоны считались медленными спектаторами. На рис. 3 приведено распределение по импульсам этих частиц, откуда видно, что при импульсе, большем $p_0 = /105 \pm 5/$ МэВ/с, это распределение достаточно хорошо описывается волновой функцией Хюльтена /кривая на рис. 3/, а при $p < p_0$ начинаются потери. Нужно отметить, что найденное при просмотре количество протонов, вылетающих в заднюю полусферу, оказалось в 1,4 раза завышено по сравнению с данными измерения. В дальнейшем это завышение учитывалось. Чис-

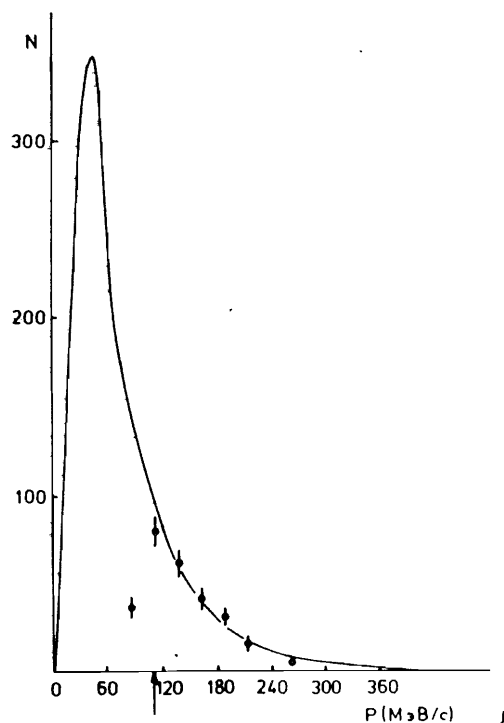


Рис. 3. Импульсное распределение протонов-спектаторов. Кривая - предполагаемая форма распределения, получаемая на основе волновой функции Хюльтена /стрелка показывает начало потерь/.

ло 1-лучевых событий (N_1) определялось из соотношения

$$N_1 = \frac{1}{k} \cdot \frac{1-\alpha}{\alpha} \cdot N_2^{bw} \quad /3/$$

где $N_2^{bw} = 652$ - число протонов-спектаторов, вылетающих в заднюю полусферу; k - доля этих спектаторов; α - доля спектаторов, имеющих видимый пробег. Оценка, полученная методом, описанным в /4/, дает $k = 0,476$. Значение $\alpha = 0,26$ было найдено из импульсного распределения спектаторов, соответствующе-

го волновой функции Хюльтена /5/. Из /3/ для числа 1-лучевых событий получаем значение $N_1 = /3898 \pm 289/$.

4. Для определения топологических сечений dd -взаимодействия необходимо знание миллибарн-эквивалента, значение которого находим из формулы

$$\mu = \frac{\sigma_{tot} - \Delta\sigma_{sc}}{N_{tot}} = 0,00445 \pm 0,00008 \quad (\text{мб/событие}), \quad /4/$$

где N_{tot} - все найденные события, а $\Delta\sigma_{sc}$ - потери упругих и квазиупругих взаимодействий, приведенные в третьей колонке табл. 3. Теперь, зная значение μ и используя сечения, приведенные в 4-й и 5-й колонках табл. 3, можно определить количество 1- и 2-лучевых упругих и квазиупругих видимых событий, которые указаны в 4-й колонке табл. 1. В 5-й колонке табл. 1 приведены окончательные данные по числу неупругих dd -взаимодействий разных топологий и в табл. 4 - топологические сечения неупругих dd -взаимодействий. Топологические сечения определялись для ис-

тинной множественности заряженных частиц, то есть с учетом невидимого медленного протона-спектатора. В табл. 5 представлены средняя множественность, дисперсия (D) распределения по множественности заряженных частиц и величина отношения $\langle n_{ch} \rangle / D$. Видно, что значение $\langle n_{ch} \rangle$ совпадает с найденным в пункте 3.1. В табл. 5 приведены также мюллеровы статистические моменты.

Таблица 4
Топологические сечения неупругих dd -взаимодействий при 12 ГэВ/с

$\langle n_{ch} \rangle$	2	4	6	8	10	Полное неупругое сечение
$\sigma_{n_{ch}}^2$ (мб)	$33,2 \pm 2,1$	$53,0 \pm 0,9$	$11,6 \pm 0,3$	$0,89 \pm 0,10$	$0,058 \pm 0,023$	$98,8 \pm 2,4$

Таблица 5
Характеристики распределения по множественности заряженных частиц для неупругих dd -взаимодействий при 12 ГэВ/с

$\langle n_{ch} \rangle$	D	$\langle n_{ch} \rangle / D$	f_2
$3,6 \pm 0,03$	$1,35 \pm 0,02$	$2,67 \pm 0,04$	$-0,35 \pm 0,02$
C_2	C_3	C_4	C_5
$1,140 \pm 0,005$	$1,45 \pm 0,02$	$2,01 \pm 0,05$	$3,01 \pm 0,13$

Таблица 6
Интерполяционные характеристики NN -взаимодействий при импульсе 6,1 ГэВ/с

Реакция	σ_{tot} (мб)	σ_{el} (мб)	$\rho \equiv \frac{\text{Re} f(0)}{\text{Im} f(0)}$	b (ГэВ/с) ⁻²
pp	$40,7 \pm 0,1$	$11,83 \pm 0,14$	$-0,40 \pm 0,05$	$8,3 \pm 0,3$
pn	$41,8 \pm 0,1$	$12,5 \pm 0,5$	$-0,45 \pm 0,05$	$8,5 \pm 0,5$

ПРИЛОЖЕНИЕ

Параметризация нуклон-нуклонных амплитуд и формфактора дейтрона.

При расчетах сечений различных процессов в dd -взаимодействиях использовалась одноэкспоненциальная параметризация амплитуд упругого нуклон-нуклонного рассеяния:

$$f_{NN}(q) = \frac{P \sigma_{NN}}{4\pi} (i + \rho_{NN}) e^{-\frac{1}{2} b_{NN} q^2},$$

где σ_{NN} - полное нуклон-нуклонное сечение, ρ_{NN} - отношение действительной и мнимой частей амплитуды упругого нуклон-нуклонного рассеяния, q - двухкомпонентный вектор переданного импульса, P - импульс налетающего нуклона, а b_{NN} - параметр наклона. Значения σ_{NN} и ρ_{NN} при 6,1 ГэВ/с брались из интерполяции мировых данных в области от 3 до 10 ГэВ/с ^{16/}. В качестве b_{NN} использовался "эффективный" параметр наклона, полученный из оптической теоремы:

$$b_{NN} = \frac{\sigma_{NN}^2 (1 + \rho_{NN}^2)}{16\pi (\hbar c)^2 \sigma_{NN}^{el}},$$

где σ_{NN}^{el} - упругое нуклон-нуклонное сечение. Результаты интерполяции приведены в табл. 6. Для исследования влияния выбора формфактора дейтрона на конечные результаты расчеты проводились с четырьмя различными формфакторами:

$$S(q) \text{ /7/} = e^{-33,7q^2}, \quad \text{/П1а/}$$

$$S(q) \text{ /8/} = 0,178 e^{-225q^2} + 0,287 e^{-45q^2} + 0,535 e^{-25q^2}, \quad \text{/П1б/}$$

$$S(q) \text{ /7/} = 0,34 e^{-141,5q^2} + 0,58 e^{-26,1q^2} + 0,08 e^{-15,5q^2}, \quad \text{/П1в/}$$

$$S(q) \text{ /5/} = \frac{0,202}{q} \left[\arctg\left(\frac{q}{0,0912}\right) + \arctg\left(\frac{q}{0,52}\right) - 2\arctg\left(\frac{q}{0,3056}\right) \right], \quad \text{/П1г/}$$

На рис. 4 приведены отклонения этих формфакторов при разных q от значения формфактора $S_p(q)$, полученного с использованием волновой функции парижского потенциала ^{19/}, которая наиболее

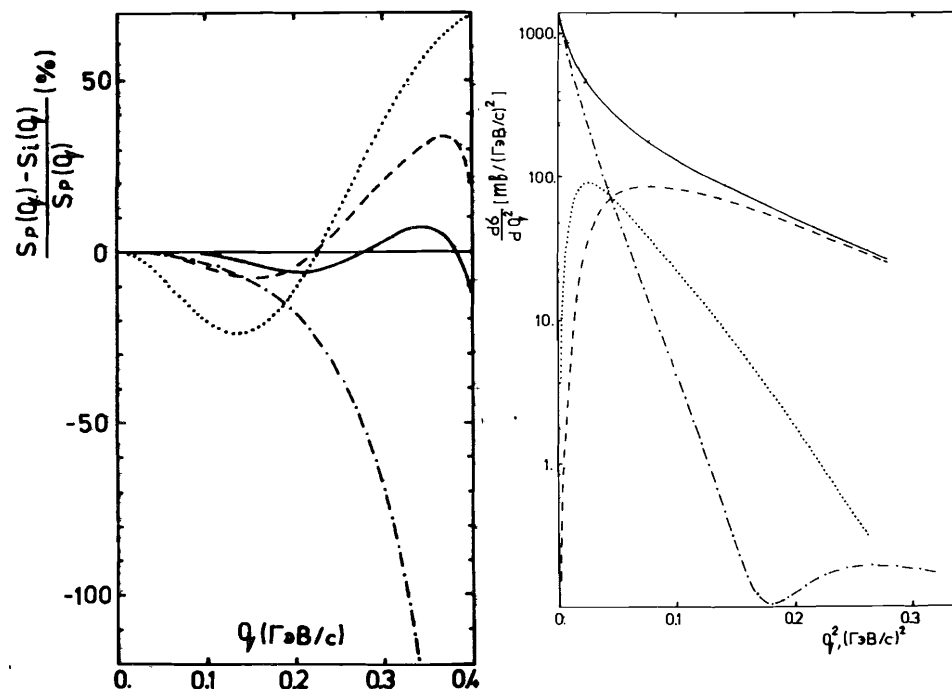


Рис. 4. Отклонение значений формфакторов, определенных из выражений П1а /пунктирная/, П1б /штриховая/, П1в /сплошная/, П1г /штрихпунктирная кривая/ при разных q , от значения формфактора, соответствующего волновой функции парижского потенциала.

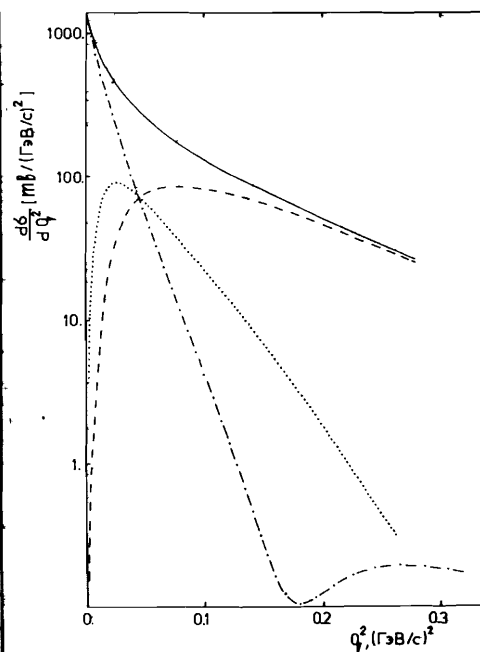


Рис. 5. Дифференциальные сечения, соответствующие формфактору /П1в/, упругого канала /штрихпунктирная/, квазиупругого канала $dd \rightarrow dnp$ /пунктирная/, квазиупругого канала $dd \rightarrow pnp$ /штриховая/, суммы упругого и квазиупругих каналов /сплошная кривая/.

более достоверно описывает свойства дейтрона. Видно, что формфакторы /П1б/ и /П1в/ достаточно хорошо согласуются с $S_p(q)$ в широкой области значений переданного импульса q , в отличие от /П1а/ и /П1г/. Для окончательных расчетов использовался формфактор /П1в/. Результаты этих расчетов для дифференциальных сечений упругого и квазиупругого каналов приведены на рис.5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сазонов С.Г., Толмачев В.Т. ОИЯИ, 13-80-403, Дубна, 1980; Богомолов Н.В. и др. ОИЯИ, 13-84-582, Дубна, 1984.
2. Васильев В.В. и др. Препринт ИФВЭ, 80-66, Серпухов, 1980.
3. a/ Franco V., Glauber R. - Phys.Rev., 1966, 142, 1195;

3. 6/ Franco V. - Phys.Rev., 1968, 175, 1376;
в/ Задорожный А.М., Ужинский В.В., Шмаков С.Ю. - ЯФ, 1984,
т.39, с.1155.
4. Porter F.C. et al. - Phys.Rev., 1980, D21, 611;
Porter F.C. - Ph.D.Thesis, UCPPG /77/9/1, 1972.
5. Hulthen L., Sugawara M. In: Structure of Atomic Nuclei,
Encyklopedia of Physics, Vol.39, 1957, Springer Verlag.
6. Particle Data Group, Review of Particle Properties. - Phys.
Lett., 1982, 111B.
7. Franco V., Varma G.K. - Phys.Rev., 1975, C12, 225.
8. Azhgirey et al. JINR, E2-12683, Dubna, 1979.
9. Lacombe et al. - Phys.Rev., 1980, C21, 861;
Lacombe et al. - Phys.Lett., 1981, 101B, 139.

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 нейтрон- ной 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 проб- лемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р.50 к.
Д10,11-84-818	Труды V Международного совещания по проб- лемам математического моделирования, про- граммированию 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 анали- тическим 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 ускоре- телям 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.

Рукопись поступила в издательский отдел
14 мая 1987 года.