

Д-15

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1 - 8196

ДАЛХАЖАВ
Нолсонгийн

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
• БЫСТРЫХ ПИОНОВ, ПРОТОНОВ, ДЕЙТРОНОВ
С ПРОТОНАМИ, ЯДРАМИ С, N, O И Ag, Br

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1974

1 - 8196

ДАЛХАЖАВ.

Нолсонгийн

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
БЫСТРЫХ ПИОНОВ, ПРОТОНОВ, ДЕЙТРОНОВ
С ПРОТОНАМИ, ЯДРАМИ C, N, O И Ag, Br

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

В проблемах исследований по физике высоких энергий большой интерес представляют адрон-адронные, адрон-ядерные взаимодействия.

Изучение упругого рассеяния адронов на нуклонах как кинематически простейшего вида двухчастичного процесса позволяет проверить такие фундаментальные положения, как дисперсионные соотношения, выяснить природу амплитуды рассеяния. Рассеяние на дейтроне позволяет изучить характер и структурные особенности простейшего ядра.

Исследование взаимодействий частиц с ядрами и ядер с ядрами представляет не только чисто научное, но и прикладное значение.

Взаимодействие частиц с ядром является сложным процессом, включающим как столкновения с отдельными его нуклонами, так и взаимодействие с ядром как с целым /когерентная генерация/. Описание экспериментов ядерного взаимодействия при высокой энергии сложно, поэтому большую роль имеют различные модельные представления.

Настоящая диссертация посвящена исследованиям упругого π^-p -, pp -, pd -рассеяния при импульсе 4 ГэВ/с; неупругих взаимодействий π^- -мезонов при импульсах 7 и 60 ГэВ/с с протонами, взаимодействий π^- -мезонов при импульсе 60 ГэВ/с и дейтронов при 9,4 ГэВ/с с группами ядер C, N, O и Ag, Вг. Эти исследования проведены с применением фотоземельсий различного ядерного состава.

Эксперименты проводились на ускорителях ЛВЭ ОИЯИ /Дубна/ и ИФВЭ /Серпухов/.

Диссертация состоит из 4 глав.

В первой главе описываются основные свойства эмульсионных слоев, насыщаемых легкими ядрами способом, предложенным в работе /1/ /насыщение этиленгликолем/. Это позволяет более чем вдвое увеличить долю взаимодействий с легкими ядрами по сравнению с использованием эмульсии со стандартным составом ядер.

В табл. I дан ядерный состав обычной /I/ и обогащенной / II / эмульсий.

Еще одним преимуществом эмульсионных слоев, насыщенных легкими ядрами, является увеличение толщины слоев во время облучения в $2 \div 2,5$ раза/во столько же увеличивается коэффициент усадки/, что позволяет вести наблюдения со слоями обычной толщины, т.е. не требует сложной специальной оптики. За счет увеличения толщины уменьшается число продолжений следов в соседние слои. При уменьшении искажений эмульсий, насыщенных легкими ядрами, перспективным является определение импульсов частиц по магнитному отклонению, т.к. уменьшение константы рассеяния в $\geq 1,5$ раза соответственно уменьшает ошибку в измерении импульса из-за многократного кулоновского рассеяния.

Вторая глава посвящена исследованию упругих π^-p^- , pp^- и pd^- -рассеяний при импульсе первичных частиц 4 ГэВ/с .

В исследованиях упругого π^-p^- -рассеяния применялся метод перпендикулярного облучения эмульсий, обогащенных этиленгликолем, а упругое pp^- и pd^- -рассеяние исследовалось с помощью метода тонкой мишени, предложенного В.А.Никитиным и В.А.Свиридовым /9,10/. В этих исследованиях получены дифференциальные сечения. Анализ экспериментальных данных проводился по формуле Бете /11/.

На рис. 1 приведено дифференциальное сечение упругого π^-p^- -рассеяния при энергии 4 ГэВ/с , полученное нами, совместно с данными других работ /12,13/ при близких энергиях.

Таблица 1
Ядерный состав стандартной эмульсии (I) типа НИИХИМФОТО БР-2 /24/
и эмульсии, обогащенной этиленгликолем (II)

Ядер/ см^3 $\times 10^{22}$	H	C	O	N	Ag	Br
I	3,148	1,412	0,956	0,396	1,036	1,031
II	5,157	1,853	1,675	0,148	0,387	0,385

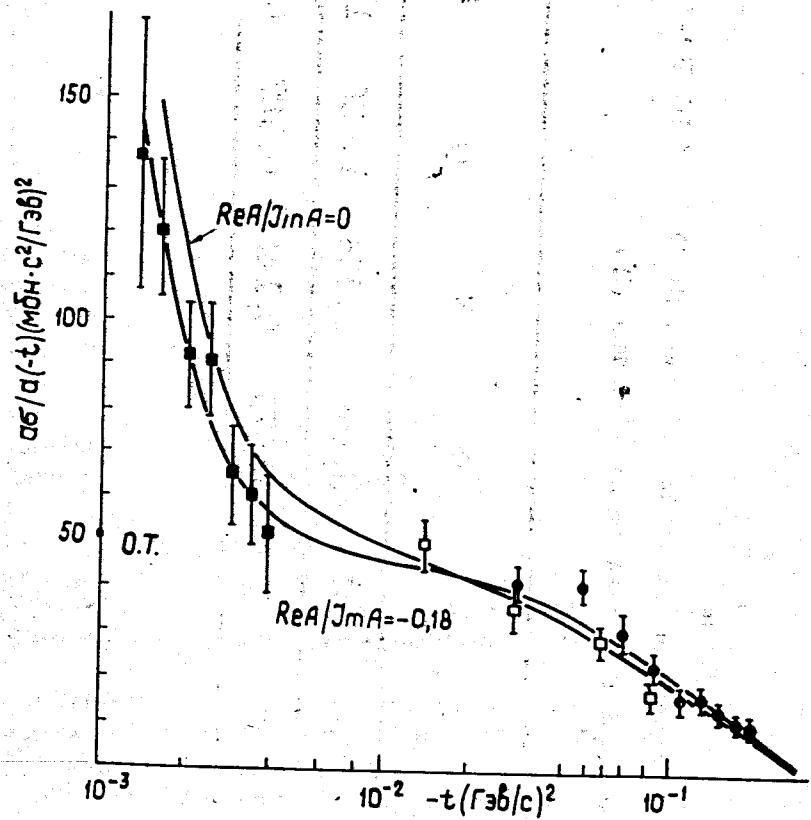


Рис. 1. Дифференциальное сечение упругого π - p рассеяния при импульсе 4 ГэВ/с. ■ - данные работы /12/, ● - данные работы /13/, □ - наши данные.

Третья глава посвящена исследованию взаимодействий π^- -мезонов при 7 и 60 ГэВ/с с протонами, взаимодействий π^- -мезонов при 60 ГэВ/с с группами легких (C, N, O) и тяжелых (Ag, Br) ядер.

Для $\pi^- p$ -столкновений получена степенная зависимость средней множественности заряженных частиц от энергий

$$\langle n_{\pm} \rangle \sim E^{0,32 \pm 0,04}$$

Зависимость $\langle n_{\pm} \rangle$ от E сопоставляется с теоретическими моделями.

На рис. 2 показана совокупность наших данных /14a/ совместно с данными работ, выполненных с помощью пузырьковых камер /14b/.

По статистической модели Померанчука /15/ при генерировании частиц состояние равновесия устанавливается в объеме, соответствующем совокупному объему всех генерированных частиц, и это дает зависимость $\langle n_{\pm} \rangle \sim E^{0,5}$. В отличие от этого в работе /16/ генерация частиц рассматривается как статистический взрывной процесс, что дает зависимость $\langle n_{\pm} \rangle \sim E^{1/3}$. Многие теоретические модели приводят к логарифмической зависимости $\langle n_{\pm} \rangle \sim \ln E$. Как видно из рис. 2, опытные данные не исключают логарифмической зависимости /пунктирная кривая/.

При исследованиях взаимодействий с ядрами необходимо отметить, что сложный ядерный состав эмульсии I и большая доля взаимодействия ($\sim 3/4$) с ядрами Ag, Br усложняет выделение взаимодействий с легкими ядрами. Это привело к использованию неоднозначных критериев для разделения взаимодействий на легких и тяжелых ядрах в работах различных авторов /17, 18/ и, соответственно, к существенным различиям в разделии взаимодействий на этих группах ядер.

Благодаря применению в наших работах эмульсии I и обогащенной этиленгликолем эмульсии II удается надежно разделять взаимодействия на группах ядер C, N, O и Ag, Br.

Разделение взаимодействий на этих группах ядер проводится следующим образом. Вследствие аддитивно-

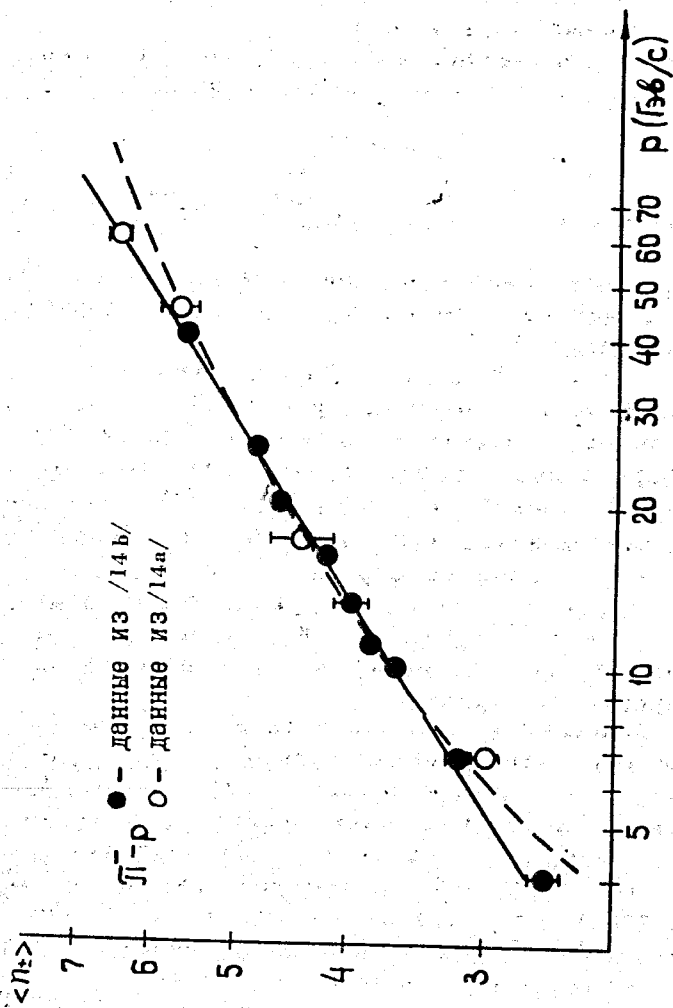


Рис. 2. Зависимость средней множественности для π^- взаимодействий от импульса в л.с.

сти ядерного состава стандартной эмульсии и этиленгликоля взаимодействия в эмульсии II рассматриваются как сумма взаимодействий с ядрами эмульсии I и взаимодействий на ядрах H, C, O, входящих в состав этиленгликоля. Для определения числа взаимодействий на группах ядер вначале вычитаем из числа всех взаимодействий взаимодействия на свободных протонах, составляющие -4% в эмульсии I, -7% в эмульсии II. Далее вычитаются когерентные взаимодействия, выделяемые по критериям /5/. Полученное после этих вычитаний число взаимодействий в эмульсиях I и II нормируется на одинаковую длину прослеживаемых следов. Затем находится число взаимодействий $N_{II}(C, O)$ на ядрах C, O в этиленгликоле как разность

$$N_{II}(C, O) = N_{II} - \frac{N_I}{V_{II}/V_I} \cdot \frac{L_{II}}{L_I},$$

где N_I и N_{II} - число звезд в эмульсиях I и II после выделения случаев π^-p - и когерентных взаимодействий, найденных на длине L_I и L_{II} , соответственно; V_I и V_{II} - объемы эмульсий I и II во время облучения.

Используя полученное распределение N_s / N_h для $N_{II}(C, O)$, находим аналогичные распределения для легких ядер C, N, O в эмульсии I - $N_I(C, N, O)$ и в эмульсии II - $N_{II}(C, N, O)$. После этого вычитанием из N_s / N_h распределений в эмульсиях I и II распределений на легких ядрах получаем соответствующие распределения на тяжелых ядрах. Средние характеристики взаимодействий (N_s, N_h) по группам ядер в эмульсиях I и II согласуются и в дальнейшем объединяются. Полученные суммарные распределения взаимодействий на легких и тяжелых ядрах приведены на рис. 3.

В табл. 2 дано значение средних величин, характеризующих генерацию частиц для отдельных групп ядер и их распад.

Полученные результаты нельзя объяснить обычной каскадно-испарительной моделью, дающей завышенные значения $\langle N_s \rangle$ и $\langle N_h \rangle$ по сравнению с экспериментом. Различные модификации этой модели объясняют лишь отдельные результаты эксперимента, но не эксперимент в це-

Рис. 3а. Распределение событий по числу N_s в зависимости от числа N_h для С, N, O.

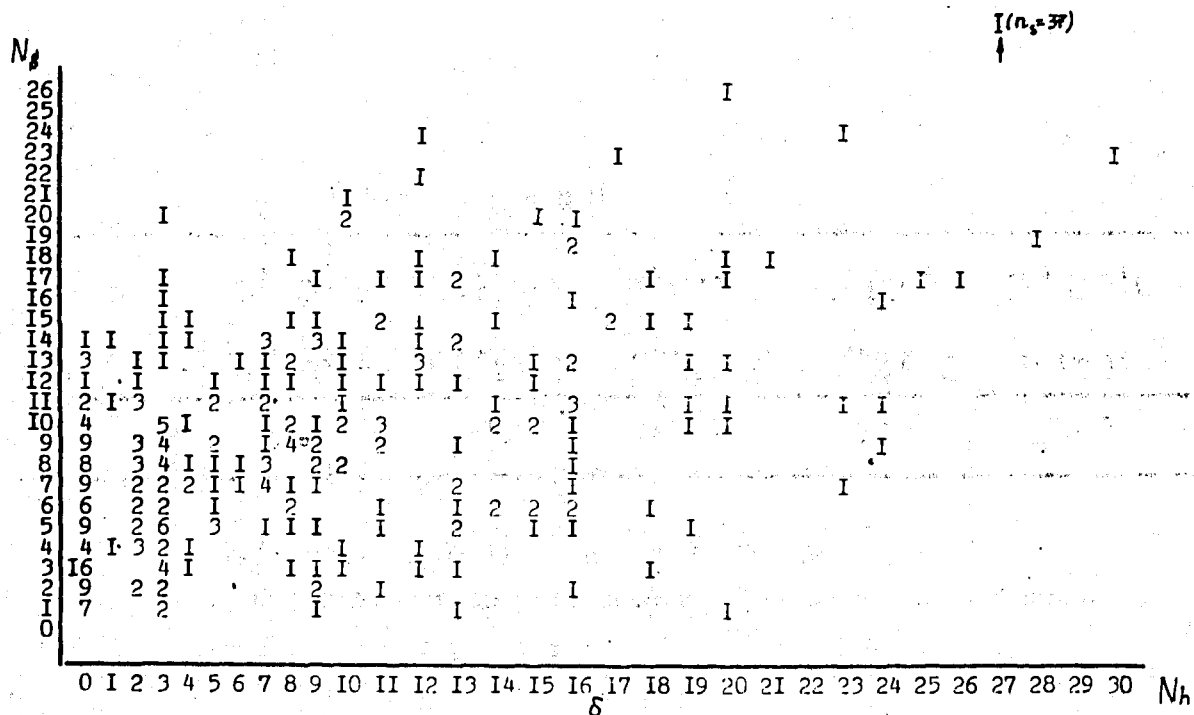
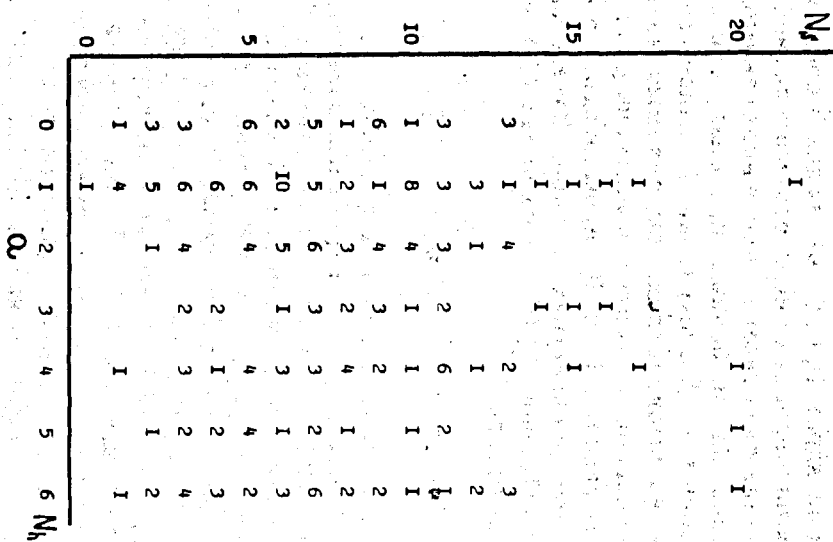


Рис. 3б. Распределение событий по числу N_s в зависимости от числа N_h для Ag, Br.

Таблица 2

Средние характеристики взаимодействий π^- -мезонов с импульсом 60 ГэВ/с с ядрами С, N, O и Ag, Br

	$\langle N_s \rangle$	$\langle N_g \rangle$	$\langle N_b \rangle$	$\langle N_h \rangle$	$\theta_{s,1/2}^0$
С, N, O	$7,4 \pm 0,4$	$0,7 \pm 0,1$	$1,8 \pm 0,1$	$2,6 \pm 0,1$	$8,8 \pm 0,8$
Ag, Br	$8,9 \pm 0,3$	$2,3 \pm 0,2$	$4,8 \pm 0,3$	$7,1 \pm 0,4$	$16,4 \pm 0,6$

лом. Лучшее согласие с опытным значением $\langle N_s \rangle$ дает модель многочастичных взаимодействий, однако и она дает завышенное значение величины $\langle N_g \rangle$, которое сильно зависит от кратности столкновений первичного адрона и вторичных частиц с нуклонами ядра.

В работе показана слабая зависимость отношения $\langle N_s \rangle / \langle n_{ch} \rangle$ от атомного веса $\langle N_s \rangle / \langle n_{ch} \rangle \sim A^{0,10 \pm 0,02}$, что существенно для трактовки механизма взаимодействия.

Совокупность полученных данных говорят в пользу механизма взаимодействия быстрого π^- -мезона с нуклонами ядра, когда в первичном акте взаимодействия образуется адронный комплекс.

В четвертой главе рассматривается неупругое взаимодействие дейтронов с импульсом 9,4 ГэВ/с с группами ядер С, N, O и Ag, Br. Средние пробеги неупругого взаимодействия дейтронов при 9,4 ГэВ/с в эмульсиях I и II равны

$$\langle \lambda_I \rangle = 26,9 \pm 0,6 / \text{см}, \langle \lambda_{II} \rangle = 39,6 \pm 2,0 / \text{см}.$$

Средние характеристики взаимодействия дейтронов со средними ядрами фотоэмульсии сопоставляются с расчетами /19/ по каскадной модели с учетом уменьшения плотности нуклонов ядра-мишени, а также с экспериментом /20/ и расчетом /21/ для протонов с импульсом 9,6 ГэВ/с. Наблюдается согласие опытных и расчетных данных для ливневых и каскадных частиц в пределах ошибок и различие результатов для испарительных частиц с каскадно-испарительной моделью.

Разделение взаимодействия на легких и тяжелых ядрах для дейтронов с импульсом 9,4 ГэВ/с проведено аналогично тому, как это делалось при исследовании взаимодействий π^- -мезонов с импульсом 60 ГэВ/с с ядрами фотоэмульсии.

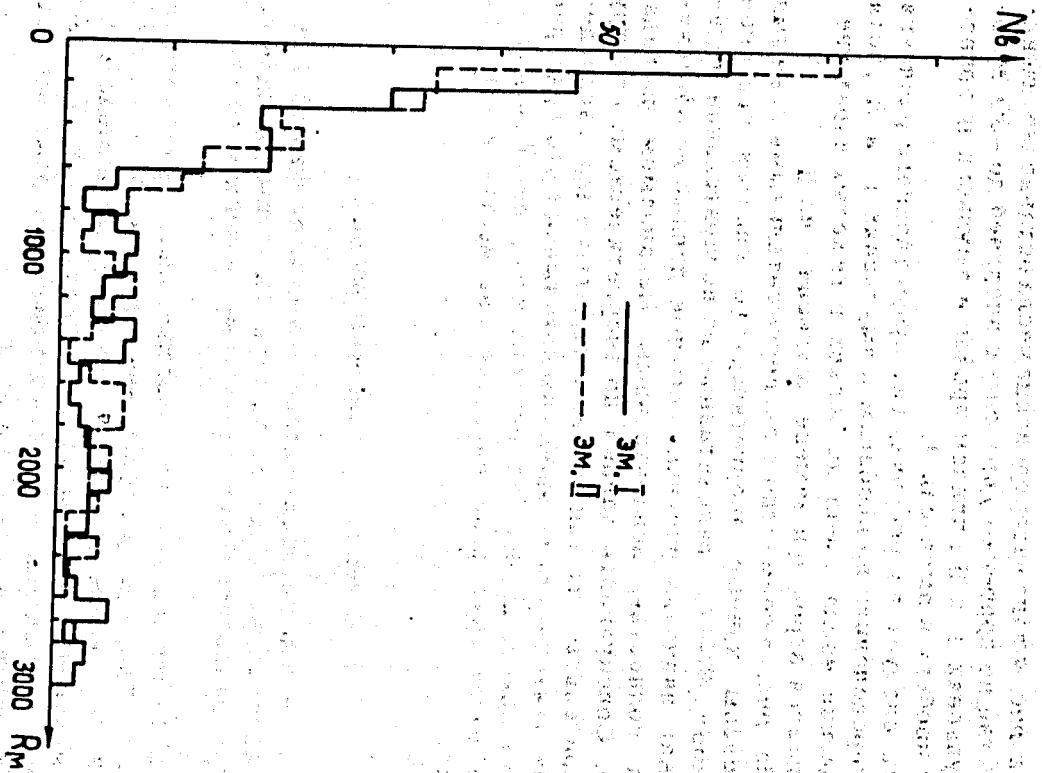
В табл. 3 даны полученные при этом средние характеристики взаимодействия дейтронов на отдельных группах ядер.

Таблица 3

Средние характеристики взаимодействий дейтронов с импульсом
9,4 ГэВ/с с ядрами С, N, O и Ag, Br

	$\langle N_s \rangle$	$\theta_{s,1/2}^0$	$\langle N_g \rangle$	$\theta_{s,1/2}^0$	$\langle N_b \rangle$	$\theta_{b,1/2}^0$
C, N, O	$2,6 \pm 0,3$	$23,0 \pm 0,6$	$1,2 \pm 0,2$	$49,2 \pm 4,0$	$2,7 \pm 0,2$	$82,2 \pm 4,0$
Ag, Br	$3,3 \pm 0,3$	$32,3 \pm 2,0$	$2,1 \pm 0,3$	$58,2 \pm 4,0$	$7,4 \pm 0,5$	$78,7 \pm 5,0$

Рис. 4. Распределение числа испарительных частиц по пробегам.



На рис. 4 дано распределение числа останавливающихся частиц по пробегам /протоны с энергией до ~ 30 МэВ/ в эмульсиях I и II, причем пробег в эмульсии II приведен к пробегу в эмульсии I.

Как следует из рисунка, нет существенного различия в распределениях по пробегам в эмульсиях I и II, хотя отношение числа звезд на легких и тяжелых ядрах увеличивается втрое при замене эмульсии I на II.

На рис. 5 совместно с экспериментальными данными приведены кривые энергетического спектра протонов из работ /22,23/, рассчитанные по испарительной модели. Как видно из рисунка, опытные данные не объясняются полностью испарительным механизмом распада ядер. Совокупность данных по энергетическому спектру испарительных частиц легких и тяжелых ядер, распределения этих частиц по пробегам показывают, что критерий минимального пробега не может служить способом надежного разделения взаимодействий на легких и тяжелых ядрах.

Основные результаты работы

1. На основе предложенной нами методики обогащения фотоэмульсионных слоев легкими ядрами разработан способ разделения взаимодействий на легких и тяжелых ядрах.

2. Получены значения дифференциальных сечений упругого π^-p -, pp - и pd -рассеяний при импульсе 4 ГэВ/с.

3. В исследованиях неупругих взаимодействий π^- -мезонов с протонами при импульсах 7 и 60 ГэВ/с определена множественность вторичных заряженных частиц и ее зависимость от энергии

$$\langle n^+ \rangle \sim E^{0,32 \pm 0,04},$$

что подтверждено последующими исследованиями.

4. Исследована генерация частиц и расщепление ядер при неупругих взаимодействиях π^- -мезонов с импульсом 60 ГэВ/с с группами ядер C, N, O и Ag, Br. Показан

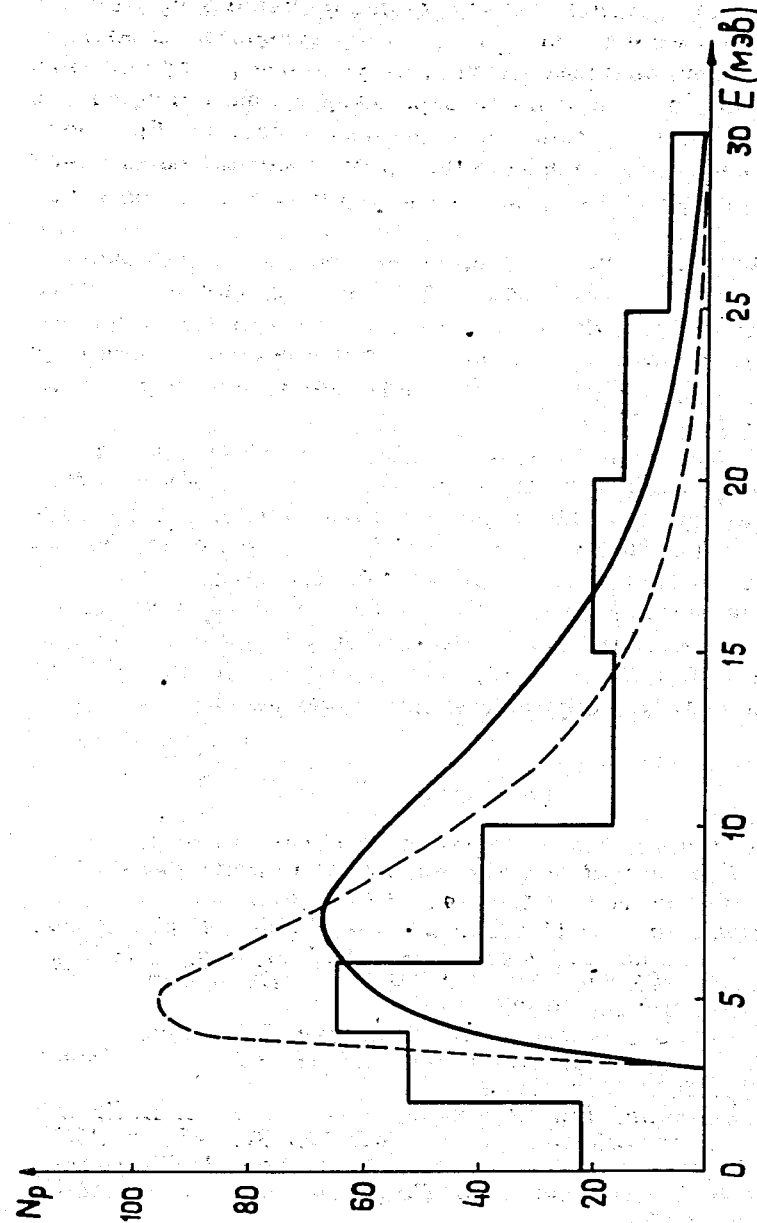


Рис. 5. Энергетический спектр протонов для взаимодействий дейтронов 9,4 ГэВ/с с ядрами Ag, Br. Сплошная кривая из работы /23/, пунктирная кривая - из работы /22/.

слабый рост среднего числа генерированных частиц как функция атомного веса ядер. Совокупность данных по числу генерированных частиц, их угловые распределения и зависимость от атомного веса ядер лучше согласуются с двухактным механизмом взаимодействия быстрого π^- -мезона с нуклонами ядра, чем с механизмом одно-временного рождения частиц в первичном акте столкновения.

5. Исследована генерация частиц в столкновениях дейтронов при импульсе 9,4 ГэВ/с с группами ядер С, N, O и Ag, Вг. Результаты сопоставлены с аналогичными данными для столкновения протонов с импульсом 9,6 ГэВ/с с ядрами фотоэмульсии и расчетами по каскадной модели.

6. Исследован распад легких и тяжелых ядер фотоэмульсии под действием дейтронов с импульсом 9,4 ГэВ/с. Получены данные по распределению частиц от распада ядер по зарядам $Z=1$, $Z=2$ и $Z \geq 3$, энергии медленных частиц и энергии возбуждения тяжелых ядер.

Основные результаты настоящей работы докладывались на международных конференциях по физике высоких энергий в Беркли /1966/, Лунде /1969/, Киеве /1970/, Батавии /1972/ и опубликованы в работах /1-8/.

Литература

1. Н. Далхажав, Т. А. Калинкина, Л. Г. Кривенцова, К. Д. Толстов, В. М. Уварова. Ядерная фотография, М., Изд-во АН СССР, стр. 171 /1962/.
2. Н. Далхажав, А. И. Златева, З. Ф. Корбел, П. К. Марков, Т. С. Тодоров, Д. Тувдендорж, Х. М. Чернев, М. Г. Шафранова. ЖЭТФ, 47, 12 /1964/; Препринт ОИЯИ, P-1481, Дубна, 1963.
3. Н. Далхажав, П. Девински, В. Заячки, З. Златанов, Л. С. Золин и др. Препринт ОИЯИ, P1-3641, Дубна, 1967; ЯФ, 8, 342 /1968/.
4. В. А. Беляков, Ван Шу-фень, В. В. Глаголев, Н. Далхажав, Р. М. Лебедев и др. ЖЭТФ, 39, 937 /1960/.
5. З. В. Анзон, А. Х. Винуцкий, В. Г. Воинов, И. С. Стрельцов, Ж. С. Такибаев и др. Сообщение ОИЯИ, P1-5072, Дубна, 1970.

6. Н. Далхажав, К. Д. Толстов, Г. С. Шабратова. Сообщение ОИЯИ, P1-5326, Дубна, 1970; Nucl. Phys., B40, 190 (1972).
7. K. M. Abdo, N. Dalkhazhav, R. A. Khoshmukhamedov, G. S. Shabratova, K. D. Tolstov. JINR Communications, E1-7548, Dubna, 1973.
8. М. И. Адамович, Н. Далхажав, В. Г. Ларионова, К. Д. Толстов, Г. С. Шабратова. Сообщение ОИЯИ, P1-6386, Дубна, 1972; Nucl. Phys., A222, 614 (1974).
9. В. А. Никитин, В. А. Свиридов, А. А. Номофилов, Л. Н. Струнов, М. Г. Шафранова. ПТЭ, 6, 18 /1963/.
10. В. А. Никитин, В. А. Свиридов, Л. Н. Струнов, М. Г. Шафранова. ЖЭТФ, 46, 1608 /1964/.
11. H. Bethe. Ann. of Phys., 3, 190 (1958).
12. Л. С. Золин, А. А. Номофилов, И. М. Ситник, Л. А. Слепчу, Л. Н. Струнов. Препринт ОИЯИ, 2770, Дубна, 1966.
13. L. Bonder, K. Bondartz, M. Deutschmann, E. Keppel, G. Kraus et al. Aachen collaboration, Nuovo Cim., 31, 729 (1964).
14. а/ З. В. Анзон, А. Х. Винуцкий, В. Г. Воинов, И. С. Стрельцов и др. Изв. АН СССР, сер. физ, 34, 1934 /1970/; б/ O. Czyzewski, K. Rybicki. Nucl. Phys., B47, 633 (1972).
15. И. Л. Померанчук. ДАН СССР, 78, 889 /1951/.
16. P. Rotelly. Phys. Rev., 182, 1622 (1969).
17. P. Ciok, P. Haskin, T. Saniewska, P. Zielinski, E. Lohrmann. Nucl. Phys., 40, 260 (1963).
18. E. Lohrmann, M. W. Teucher. Nuovo Cim., 25, 957 (1962).
19. В. С. Барашенков, А. С. Ильинов, В. Д. Тонеев. Препринт ОИЯИ, P3-5548, Дубна, 1970.
20. V. S. Barashenkov, V. A. Beliakov, V. V. Glagolev, N. Dalkhazhav et al. Nucl. Phys., 14, 522 (1959).
21. В. С. Барашенков, К. К. Гудима, В. Д. Тонеев. Препринт ОИЯИ, P2-4402, Дубна, 1969.
22. K. J. Le Couteur. Proc. Phys. Soc., 63A, 259 (1950).
23. Н. А. Перфилов, О. В. Ложкин, В. И. Остроумов. Ядерные реакции под действием частиц высоких энергий. М., Изд-во АН СССР, 1962.
24. Л. П. Вахтанова. Журнал научной и прикладной фотографии и кинематографии, 9, 129 /1964/.

Рукопись поступила в издательский отдел
9 августа 1974 года.