

5261

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P2-5261



К.К. Гудима, А.Д. Кириллов, В.Д. Тонеев,
Ю.П. Яковлев

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БЫСТРЫХ ДЕЙТРОНОВ
С ЯДРАМИ

1970

P2-5261

К.К. Гудима, А.Д. Кириллов, В.Д. Тонеев,
Ю.П. Яковлев

**НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БЫСТРЫХ ДЕЙТРОНОВ
С ЯДРАМИ**

В в е д е н и е

Изучение неупругих процессов взаимодействия быстрых протонов с ядрами к настоящему времени достигло такого уровня, что стало возможным с достаточно хорошей точностью воспроизводить многие экспериментальные характеристики. Успехи, достигнутые в этом направлении, связаны с развитием модели внутриядерных каскадов/1-3/. Однако взаимодействие ядер с ядрами исследовано совершенно недостаточно как экспериментально, так и теоретически, хотя и ощущается большая необходимость таких исследований. В частности, можно указать на вопросы радиационной безопасности при длительных космических полетах, когда основная доза облучения приходится на долю ядерной компоненты космических лучей/4/. Кроме того можно думать, что анализ столкновений ядро + ядро представляет значительный самостоятельный интерес для ядерной физики высоких энергий.

Целью данной работы является дальнейшее изучение простейшего случая - взаимодействия быстрого дейтрона с ядрами фотоэмульсии. Именно на этом примере можно почувствовать те сложности, которые возникают при попытке прямого применения к столкновениям двух ядер тех методов, которые были развиты для нуклон-ядерных взаимодействий.

Постановка опыта

Для получения дейтронов с энергией 600 Мэв использовался канал с электростатической сепарацией (канал №3 ЛВЭ ОИЯИ), формирующий

пучок положительных частиц, образующихся в медной мишени ($4 \times 4,6 \times 14 \text{ мм}^3$) при взаимодействии с ускоренными протонами. Угол вылета частиц из мишени $\approx 21^\circ$. Размер изображения в конце канала - $6 \times 11 \text{ мм}^2$. Интенсивность составляла 20 дейтронов на $1 \cdot 10^{10}$ протонов, сброшенных на мишень. Примесь протонов и π^+ - мезонов была не более 10%; разброс по импульсу - $\pm 1\%$.

Стопка особомелкозернистой фотоэмульсии типа ПР-2 (толщина слоя 250 мк) облучалась на этом пучке до загрузки $0,5 \cdot 10^5$ частиц/см² в области наибольшей плотности треков.

Просмотр проводился на микроскопах МБ-3 и МБ-1 при увеличении 9×60 по площади вдоль группы следов первичного пучка при скорости $0,50 \text{ см}^2$ за 6 часов. Градуировка была выполнена путем измерения ионизации следов первичного пучка, а также следов частиц, останавливающихся в фотоэмульсии. При этом к "серым" лучам относились все частицы с энергией более 50 Мэв (если считать их протонами).

За ядро отдачи принимались частицы, имеющие след длиной менее 5 мк. Если таких следов в расщеплении было два, то принималось, что ядру принадлежит самый короткий.

С эффективностью, близкой к 100%, регистрировались следующие события:

1) все случаи, в которых след первичного пучка имел отклонение на угол $\theta > 5^\circ$;

2) все случаи, когда число любых лучей было больше одного (в том числе и трек ядра отдачи).

Таким образом, из рассмотрения исключались все 0^- -лучевые звезды, события типа дифракционного расщепления дейтрона, стриппинг с пролетом протона, отклонившегося на угол $\theta > 5^\circ$ и вылетом из ядра только нейтронов. Были отброшены также все случаи рассеяния на водороде.

Статистика, использованная для построения экспериментальных зависимостей, составляет 500 звезд.

Теоретическая модель

Для анализа полученных экспериментальных данных мы воспользуемся каскадной моделью высокоэнергетических дейтрон-ядерных взаимодействий^{/5,6/}. Будем рассматривать дейтрон как слабо связанную систему, "гантель" из протона и нейтрона, расстояние между которыми фиксировано, а относительный импульс нуклонов в дейтроне определим квадратом фурье-образа волновой функции дейтрона. Если пренебречь внутриядерным упругим d-N рассеянием, вклад от которого невелик и к тому же быстро падает с ростом энергии^{/5/}, то в этом случае задача сводится к расчёту внутриядерного каскада, инициируемого сразу двумя нуклонами дейтронной гантели (или одним из них, когда происходит стриппинг).

Расчёт внутриядерного каскада выполнен с учётом диффузности ядерной границы. Плотность внутриядерных нуклонов описывалась распределением Вудса-Саксона с параметрами, полученными в опытах по рассеянию быстрых электронов. Как показано в работе^{/6/}, поправки на дифракционное и кулоновское расщепление, по-видимому, несущественны.

Детали вычислений изложены в работах^{/5,6/}.

Расчёт выполнен для среднего ядра фотоэмульсии ^{70}Ga . При сравнении с опытом среди рассчитанных событий отбирались лишь те, которые соответствовали экспериментальным условиям наблюдения.

Обсуждение экспериментальных результатов

Уже первое сравнение каскадной модели дейтрон-ядерных столкновений с опытом показало разумное согласие общих характеристик взаимодействий^{/5,6/}. Поэтому в данных (предварительных) результатах основное внимание было уделено тому, чтобы выяснить, насколько хорошо каскадная модель может воспроизводить детали процесса. В частности, весьма "деликатной" характеристикой является корреляция числа быстрых и медленных частиц в звезде.

На рис. 1 приведена зависимость средней множественности \bar{b} -частиц, образующих черные треки, от числа серых лучей в звезде. Поскольку

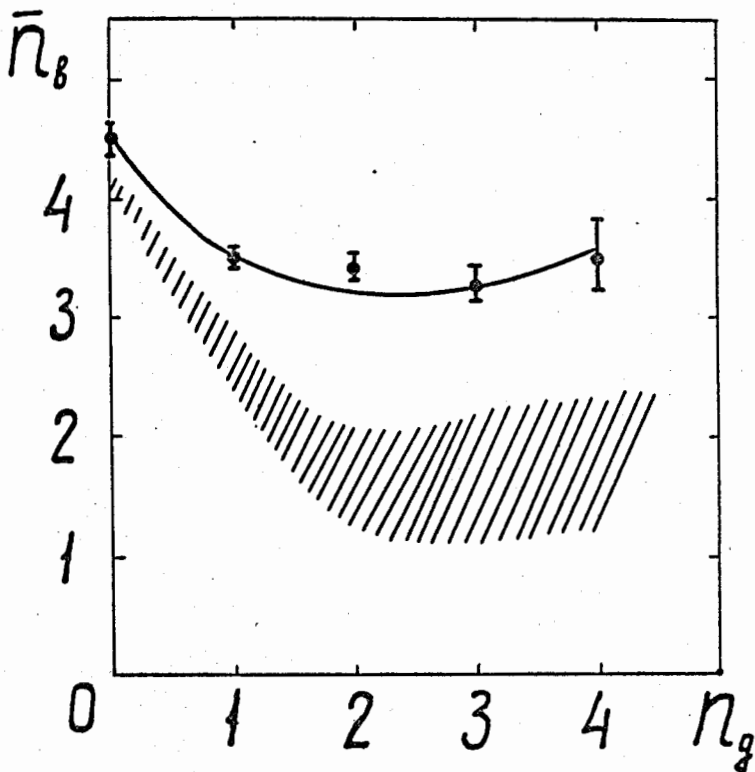


Рис. 1. Корреляция среднего числа черных лучей и числа серых лучей в звезде, образованной в фотоэмульсии дейтронами с энергией 600 Мэв. Сплошная кривая аппроксимирует экспериментальные значения. Заштрихованная область соответствует неопределенностям теоретического расчёта для ядра ^{70}Ga .

число \bar{b} -частиц пропорционально энергии возбуждения ядра, а \bar{g} -лучи характеризуют число внутриядерных столкновений, то мы видим, что при общем согласии в форме кривой $\bar{n}_b(n_q)$ каскадная модель заметно занижает энергию возбуждения для сильно разветвленных каскадов. Неточности расчёта испарительной стадии взаимодействия не могут компенсировать этого расхождения.

Интересно отметить, что при этом согласии в средней множественности быстрых вторичных частиц можно признать вполне удовлетворительным: экспериментальные значения числа заряженных частиц с энергиями выше 50 и 100 Мэв равны соответственно $1,90 \pm 0,06$ и $1,01 \pm 0,07$, что близко к теоретическим значениям $1,39 \pm 0,04$ и $0,83 \pm 0,03$. Несколько худшее согласие наблюдается для \bar{b} -лучей; эксперимент и теория дают соответственно $3,5 \pm 0,1$ и $2,7 \pm 0,1$.

Угловые распределения быстрых и медленных частиц приведены на рис. 2 и 3. И для этой характеристики имеются заметные расхождения в деталях распределений. В частности, в эксперименте наблюдается большее число частиц, вылетающих в области углов $\theta = 60^\circ - 120^\circ$. Нетрудно видеть, что некоторая неопределенность в разделении частиц на быстрые и медленные не влияет на этот вывод.

Следует отметить, что для \bar{g} -частиц подобное расхождение можно усмотреть из анализа данных при энергиях дейтрона $T = 220$ и 275 Мэв/5/, однако, при данном значении $T = 600$ Мэв это расхождение становится более явным.

З а к л ю ч е н и е

Исследование взаимодействий 600-Мэвных дейтронов с ядрами фотоэмульсии показывает, что сведение неупругого дейтрон-ядерного столкновения к двум независимым нуклонным каскадам не передает деталей поведения отдельных характеристик процесса. Установление причин расхождения требует всестороннего и тщательного анализа. По-видимому, механизм взаимодействия более сложен, что особенно заметно проявляется в больших звездах. Возможно, что в этом случае на развитие каскадной "лавины",

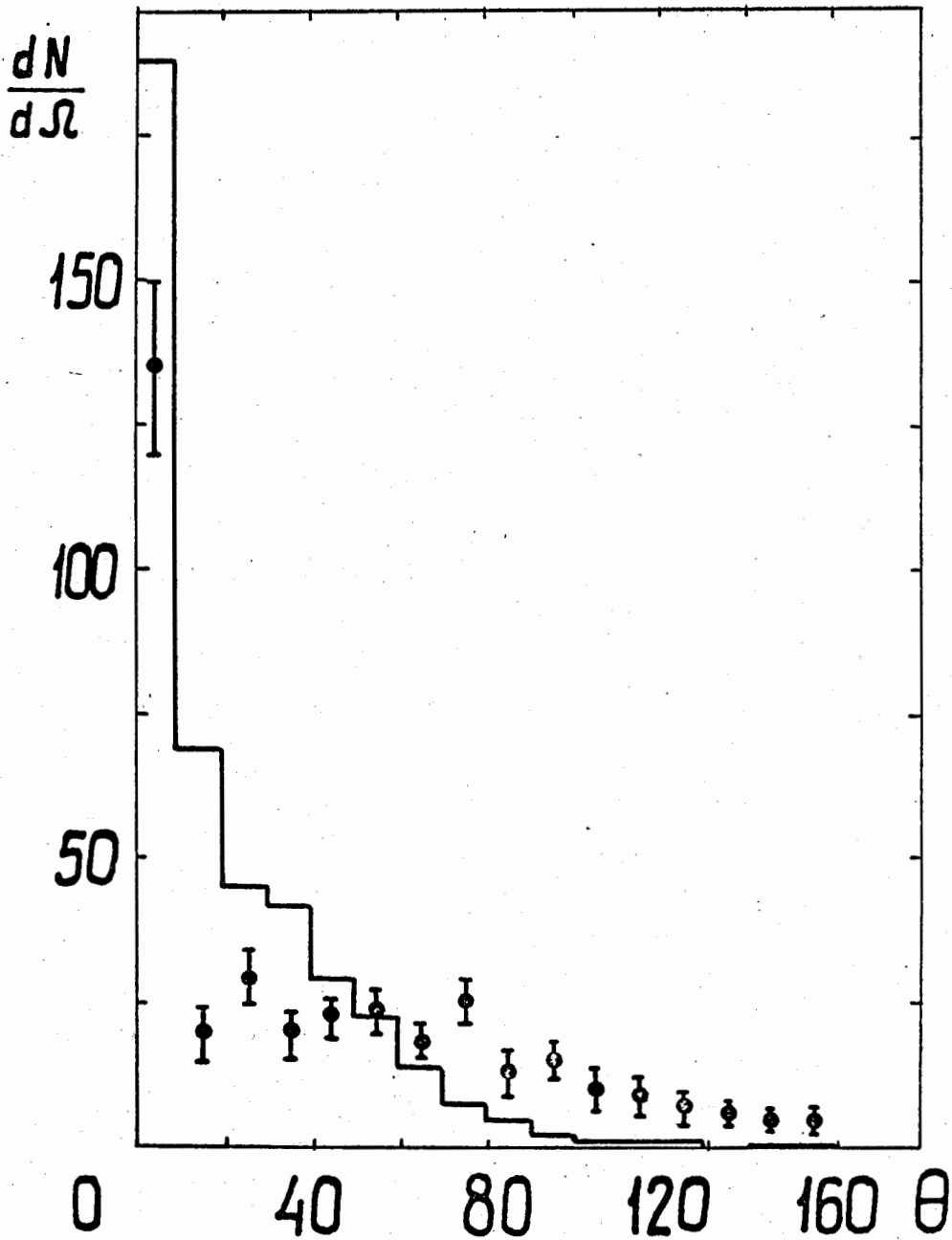


Рис. 2. Угловое распределение черых треков. Гистограмма - результат расчёта.

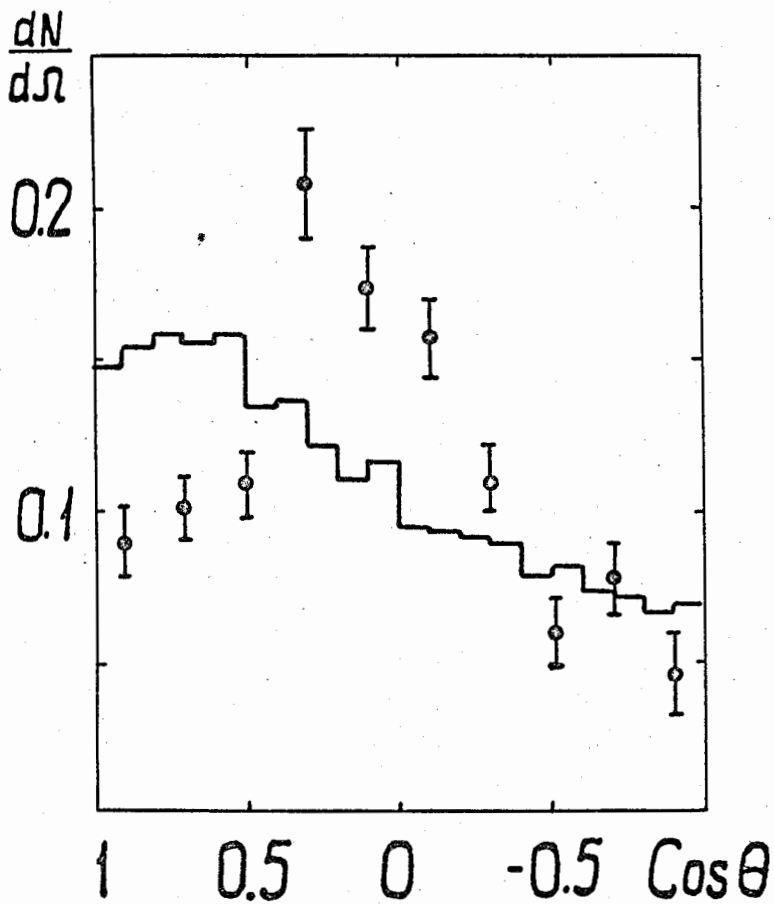


Рис. 3. Угловое распределение черных треков. Гистограмма - результат расчёта.

вызываемой одним из нуклонов дейтрона, сказывается влияние степени разветвленности внутриядерного каскада от другого нуклона. Заметим, что подобный эффект имеет место также для нуклон- и π -мезон-ядерных взаимодействий, когда множественность вторичных частиц во внутриядерных πN - и NN -столкновениях достаточно велика и частицы сильно коллимированы, а при энергии первичных нуклонов и мезонов примерно 3-5 Гэв оказывается уже определяющим даже для средней множественности \bar{p}_b и \bar{p}_g /1,2,7/.

Заниженный теоретический выход протонов в области углов $\theta \approx 60^\circ-120^\circ$, возможно, хотя бы частично, связан с пренебрежением процессами квазисвободного рассеяния дейтронов на нуклонах ядра. Это приближение было основано на малом влиянии данного процесса на среднюю множественность вторичных частиц, причем расчёты были выполнены лишь для случая ядра с резким краем/5/.

Для исследования механизма взаимодействия ядер с ядрами, по-видимому, целесообразно сравнить характеристики дейтрон-ядерного взаимодействия с характеристиками протонных реакций, а также реакций под действием более тяжелых ядер (например, ^3He или ^4He) с той же энергией на нуклон. К сожалению, в настоящее время такие характеристики отсутствуют.

В заключение авторы выражают признательность М.Л. Медведевой за работу по набору статистики расщеплений в фотопластинках.

Л и т е р а т у р а

1. V.S. Barashenkov, K.K. Gudima, V.D. Toneev. *Acta Phys. Polonica*, 36, 457 (1969).
2. V.S. Barashenkov, K.K. Gudima, V.D. Toneev. *Acta Phys. Polonica*, 36, 887 (1969).
3. H.W. Bertini. *Phys. Rev.*, 131, 1801 (1963).
4. В.Т. Бобков, В.Л. Демин и др. *Радиационная безопасность при космических полетах*, Атомиздат, М., 1964.
5. В.С. Барашенков, К.К. Гудима, В.Д. Тонеев. *ЯФ* 9, 528 (1969).

6. В.С. Барашенков, К.К. Гудима, В.Д. Тонеев. ЯФ 10, 760 (1969).
7. В.С. Барашенков, К.К. Гудима, В.Д. Тонеев. ЯФ 10, 755 (1969).

Рукопись поступила в издательский отдел

15 июля 1970 года.

Некоторые особенности взаимодействия быстрых дейтронов
с ядрами

Новые экспериментальные данные по неупругому взаимодействию с ядрами фотоэмульсии дейтронов с энергией 600 Мэв обсуждаются в рамках каскадной модели. Отмечается, что при общем соответствии расчётных и экспериментальных характеристик имеются отклонения, для устранения которых требуется дальнейшее усовершенствование модели.

Сообщения Объединенного института ядерных исследований
Дубна, 1970

Gudima K.K., Kirillov A.D., Toneev V.D., Yakovlev Yu.P.
P2-5261

Some Particular Features of the Interactions of Fast
Deutrons with Nuclei

New experimental data on inelastic interactions of 600 MeV neutrons with the emulsion nuclei are discussed in the framework of the cascade model. The general agreement between calculated and experimental characteristics established earlier by the authors is found to contain some deflections the elimination of which requires further improvement of the model.

Communications of the Joint Institute for Nuclear Research.
Dubna, 1970