

С 343  
E-515  
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

2 - 3547

С.М. Елисеев

МЕХАНИЗМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ С АТОМНЫМИ ЯДРАМИ  
ПРИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ

Автореферат диссертации, представленной на соискание  
ученой степени кандидата физико-математических наук

Научный руководитель  
доктор физико-математических наук

В.С. Барашенков

Дубна 1967

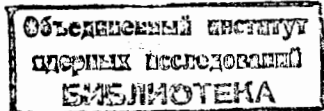
С.М. Елисеев

МЕХАНИЗМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ С АТОМНЫМИ ЯДРАМИ  
ПРИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ

Автореферат диссертации, представленной на соискание  
ученой степени кандидата физико-математических наук

Научный руководитель  
доктор физико-математических наук

В.С. Барашенков



Для описания неупругих взаимодействий элементарных частиц высоких энергий со сложными ядрами в настоящее время применяют модели, описывающие не всю детальную картину столкновения, а лишь ее некоторые характерные черты. Это обстоятельство обусловлено современным состоянием ядерной физики, а также сложностью рассматриваемого процесса. К числу таких моделей, обсуждаемых сейчас в литературе, относятся модель трубки<sup>1,2/</sup> и каскадно-испарительная модель<sup>3-7/</sup>. Целью работы было исследование применимости каскадно-испарительной модели для интерпретации взаимодействия частиц с ядрами при ускорительных энергиях в свете последних экспериментальных данных и, главным образом, распространение этой модели на область сверхвысоких космических энергий  $T > 100$  Гэв.

Диссертация состоит из четырех глав. В первой главе обсуждается один из специфических механизмов — образование в нуклон-ядерном столкновении возбужденной системы (трубки). Показано, что таким механизмом нельзя объяснить многие экспериментальные факты. Не спасает положение и предположение о том, что вторичные частицы, рожденные при распаде трубки, взаимодействуют далее внутри ядра; согласие теории и опыта при этом во многих случаях только ухудшается. Это особенно относится к области ускорительных энергий. При космических энергиях ситуация является менее ясной, однако и в этом случае имеются определенные указания о том, что при интерпретации эксперимента следует отказаться от модели трубки и ввести представление о серии последовательных взаимодействий внутри ядра. Например, существующие опытные данные о параметре анизотропии  $\sigma$  противоречат гидродинамической теории и согласуются с моделью кратных соударений.

Во второй главе представлены результаты исследований каскадно-испарительного механизма взаимодействия частиц с ядрами в области энергий (1-30) Гэв /8,7/. Все вычисления были выполнены с помощью электронной машины методом Монте-Карло с учетом релятивистской трехмерной кинематики. Методика таких расчетов подробно описана в работе /10/. При розыгрыше неупругого внутриядерного взаимодействия выполнялся закон сохранения энергии, закон сохранения импульса выполнялся в среднем. При вычислениях вся область энергий разделялась на шесть интервалов: < 0,5; 0,5-1; 1-3; 3-7; 7-10; 10-30 Гэв. В каждом из этих интервалов характеристики взаимодействий частиц, полученные усреднением экспериментальных данных, рассматривались постоянными. Для сечений взаимодействия нуклонов и  $\pi$ -мезонов с внутриядерными нуклонами ( $\sigma_t$ ,  $\sigma_{in}$ ,  $\sigma_{el}$ ), определяющих пробеги частиц внутри ядра, использовалось значительно более мелкое разбиение по энергии. Практически эти сечения рассматривались как непрерывные функции энергии. Во всех расчетах в качестве модели ядра была принята модель газа Ферми с параметром  $g_0 = 1,4$ . Размытие границы ядра не учитывалось. Расчет проводился для среднего ядра фотоэмульсии, а также разыгрывалось взаимодействие с различными компонентами эмульсии. В пределах ошибок эксперимента оба способа приводят к одинаковым результатам. Рассчитывались средние дифференциальные распределения различных величин: углов вылета вторичных частиц, энергетические распределения и т.д. Были рассчитаны также некоторые более детальные характеристики, например, угловые распределения вторичных медленных частиц разных энергий, корреляции средних чисел различных видов вторичных частиц. После прохождения каскадной стадии реакции остаточное ядро в общем случае оказывается сильно возбужденным. Энергия возбуждения снимается путем испарения из ядра нерелятивистских нуклонов, дейтронов и более тяжелых фрагментов. Для расчета характеристик испарившихся частиц была использована статистическая модель ядра. Применявшийся при этом порядок расчета по методу Монте-Карло описан в /10/. Особое внимание было уделено тяжелым ядрам эмульсии (Ag и Br), так как возможные отклонения от каскадного механизма здесь должны были бы проявиться особенно сильно.

Показано, что вся совокупность основных экспериментальных данных по взаимодействию частиц с эмульсией при ускорительных энергиях согласуется с каскадным механизмом, рассматриваемым как серии независимых двухчастичных взаимодействий вторичных частиц с отдельными внутриядерными нуклонами. Многочастичные взаимодействия внутриядерных нуклонов существенны лишь в некоторых частных случаях, таких, например, как реакции с выбиванием быстрых дейтронов, тритонов и более тяжелых фрагментов.

В третьей главе приведены расчеты по каскадной модели в области космических энергий  $T \geq 100$  Гэв /11-16/. Как и в области более низких энергий все вычисления были выполнены методом Монте-Карло с учетом трехмерной релятивистской кинематики. Методика таких расчетов описана в /10/. При вычислениях вся область космических энергий  $> 30$  Гэв была разделена на пять интервалов:

30-175; 175-375; 375-625; 625-875;  $> 875$  Гэв.

В каждом из этих интервалов характеристики неупругих взаимодействий частиц считались постоянными и были взяты из экспериментальных работ (см., например, обзоры /8,9/). При энергиях  $E > 30$  Гэв для внутриядерных взаимодействий использовались те же данные, что и в расчетах в области ускорительных энергий. Характеристики упругих элементарных взаимодействий при  $E > 30$  Гэв, где нет экспериментальных данных, рассчитывались по оптической модели. Эта модель, как известно, хорошо согласуется с экспериментом в области ускорительных энергий. Для розыгрыша неупругих  $\pi$ -N и N-N взаимодействий в области космических энергий была составлена специальная программа. В первом варианте расчета энергия выделенной лидирующей частицы (нуклона) определялась из закона сохранения энергии. Во втором варианте энергия лидирующей частицы разыгрывалась при помощи экспериментальной гистограммы коэффициента неупругости. В пределах статистических ошибок расчета оба варианта приводят к примерно одинаковым результатам. Как показал анализ, результаты вычислений при космических энергиях весьма чувствительны к выбору величины радиуса  $r_0$ . Например, для  $T = 1000$  Гэв при увеличении  $r_0$  от 1,4 до 1,6 среднее число быстрых вторичных частиц, образованных во взаимодействии с эмульсией, уменьшается от  $n = 61$  до  $n = 49$ . Остальные характеристики от  $r_0$  зависят слабее. В области ускорительных энергий наблюдается более слабая зависимость всех средних характеристик вторичных частиц от  $r_0$ .

Показано, что модель нуклон-ядерных взаимодействий на основе каскадного механизма, рассматриваемого как серии двухчастичных взаимодействий, резко противоречит известным экспериментальным данным в области энергий, больших нескольких десятков Гэв. Наиболее характерным является расхождение для множественности рождающихся частиц, которая в опытах при  $T \geq 100$  Гэв оказывается в несколько раз меньшей, чем это следует из теории. Другие экспериментальные и теоретические характеристики вторичных частиц в пределах ошибок измерений различаются не так сильно. Анализ показал, что причина столь сильного расхождения между экспериментом и теорией связана с тем, что кинетическая энергия лидирующей частицы по мере развития внутриядерного каскада уменьшается довольно медленно, благодаря чему не только при первом, но и при каждом последующем неупругом взаимодействии лидирующей частицы с нуклоном ядра образуется большое количество частиц<sup>х</sup>).

Если не учитывать вклад лидирующей частицы, то среднее число рождающихся частиц оказывается довольно близким к экспериментальному, однако и в этом случае теория дает несколько завышенные значения. Кроме того, множественность ливневых частиц с ростом энергии возрастает все же заметно быстрее, чем это следует из эксперимента. Так как завышение расчетной множественности связано в основном с лидирующей частицей, то дальнейшее усовершенствование модели нуклон-ядерного взаимодействия должно проходить в первую очередь в направлении снижения числа частиц, образующихся при внутриядерных взаимодействиях лидирующей частицы. К такому снижению приводит учет одно-временного поглощения одним внутриядерным нуклоном лидирующей частицы и еще нескольких сопровождающих частиц, образующихся вместе с ней в предыдущем N-N столкновении. Так как при высоких энергиях рождающиеся частицы вылетают в узкий телесный угол, то такие многочастичные взаимодействия представляются весьма вероятными<sup>/17/</sup>.

Такая модель рассматривается в четвертой главе. Показано, что для объяснения эксперимента по столкновению частиц с ядрами при космических энергиях необходимо вводить представление о многочастичных взаимодействиях

<sup>х</sup>) В области ускорительных энергий свойства лидирующей частицы сравнительно мало отличаются от свойств других вторичных частиц, и внутриядерный каскад с учетом лидирующей частицы (в пределах ошибок измерений и статистических ошибок расчета) практически не отличается от каскада, рассчитанного в предположении полного размешивания энергии между всеми частицами, образующимися после неупругого  $\pi$ -N и N-N-столкновений.

вторичных частиц в ядре. Так как о таких взаимодействиях в настоящее время ничего не известно, то, фактически, решалась обратная задача: по опытным результатам ядерных взаимодействий определялись характеристики многочастичных взаимодействий. Были получены средние характеристики таких взаимодействий, которые оказались довольно близкими к соответствующим характеристикам элементарных  $\pi$ -N и NA-N взаимодействий (при соответственно одинаковых энергиях в системе центра масс). Используя полученные таким образом свойства многочастичных взаимодействий, можно согласовать эксперимент и теорию во всей области энергий (1-1000) Гэв. Полученные результаты опубликованы в работах<sup>/6,7, 10-17/</sup> и обсуждались на Всесоюзных конференциях по физике космических лучей в 1964, 1965 и 1966 годах<sup>/13,14,17/</sup>.

#### Л и т е р а т у р а

1. F. C. Roesler and C.V.A. McCusker. Nuovo Cim., 10, 127 (1953).
2. Г. А. Милехин. Труды ФИАН, 16, 50 (1961).
3. R. Serber. Phys. Rev., 72, 1114 (1947).
4. А.М. Лебедев, С.А. Славатинский и Б.В. Толкачев. ЖЭТФ, 46, 2151 (1964).
5. В.В. Гусева, А.М. Лебедев, С.А. Славатинский, В.В. Соколовский. Изв. АН СССР, сер. физ., 29, 1935 (1965).
6. И.З. Артыков, В.С. Барашенков, С.М. Елисеев. Ядерная физика, 4, 156 (1966).
7. I.Z. Artykov, V.S. Barashenkov, S.M. Eliseev. Nuclear Physics, 87, 83 (1966).
8. В.С. Барашенков. Сечения взаимодействия элементарных частиц. Наука, М., 1966.
9. V.S. Barashenkov, V.M. Maltsev, I. Patera, V.D. Toneev. Fortshr. Phys., 14, 357 (1966).
10. С.М. Елисеев. Препринт ОИЯИ, Е-515, Дубна 1964.
11. В.С. Барашенков, С.М. Елисеев. Препринт ОИЯИ Р-1678, Дубна, 1964.
12. В.С. Барашенков, С.М. Елисеев. Препринт ОИЯИ Р-1796, Дубна, 1964.
13. В.С. Барашенков, С.М. Елисеев. Известия АН СССР, серия физ., 29, 1631 (1965).
14. И.З. Артыков, В.С. Барашенков, С.А. Дубровина, С.М. Елисеев, С.А. Славатинский. Изв. АН СССР, сер. физ., 30, 1581 (1966).
15. И.З. Артыков, В.С. Барашенков, С.М. Елисеев. Ядерная физика, 3, 978 (1966).

16. I.Z. Artykov, V.S. Barashenkov, S.M. Eliseev. Nuclear Physics, 87, 241 (1966).

17. И.З. Артыков, В.С. Барашенков, С.М. Елисеев. Изв. АН СССР, сер. физ. 31, 1448 (1987).

Рукопись поступила в издательский отдел

16 октября 1987 г.