



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР

В.С.Барашенков, А.В.Бояджиев, Л.А.Кулюкина, В.М.Мальцев.

P-1341

КАСКАДНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧАСТИЦ
С ЯДРАМИ В ОБЛАСТИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Дубна 1983

Барашенков В.С., Бояджиев А.В., Кулюкина Л.А.
Мальцев В.М.

Каскадные взаимодействия частиц с ядрами в области высоких энергий.

Приведены результаты расчетов нескольких десятков тысяч внутриядерных каскадов в области энергий от 5 до 30 Бэв. Сравнение с опытом показывает, что каскадный механизм взаимодействия быстрых частиц с ядрами при этих энергиях является преобладающим.

**Препринт Объединенного института ядерных исследований.
Дубна. 1963.**

Barashenkov V.S., Boyadzhiev A.B., Kulyukina L.A., Maltsev V.M.

Cascade Interactions of Particles with Nuclei in High Energy Region.

Some dozens of thousands of intranuclear cascades in the energy region from 5 up to 30 BeV have been calculated, and the results of these calculations are given. A comparison with experiment shows that the cascade mechanism of fast particle interaction with nuclei is pre dominant at these energies.

**Preprint Joint Institute for Nuclear Research.
Dubna. 1963.**

В.С.Барашенков, А.В.Бояджиев, Л.А.Кулюкина, В.М.Мальцев.

P-1341

КАСКАДНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧАСТИЦ
С ЯДРАМИ В ОБЛАСТИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Направлено в "Атомную энергию".

Дубна 1963

В течение последних лет в литературе неоднократно обсуждался вопрос о том, какой из двух возможных механизмов, механизм последовательных внутриядерных каскадов или механизм трубки, лежит в основе взаимодействия частиц с ядрами при энергиях $T > 1$ Бэв.

В работах /1-4/ непосредственным сравнением теоретических расчетов с экспериментальными данными, полученными на ускорителях, показано, что в области энергий вплоть до $T = 10$ Бэв основные черты нуклон-ядерных взаимодействий объясняются каскадным механизмом, а результаты расчетов на основе модели трубки резко противоречат опыту. Противоположные выводы некоторых более ранних работ, полученные в этой области энергий из опытов с космическими лучами, обусловлены в основном недостаточной точностью экспериментальных данных.

Простой анализ убеждает, что механизм внутриядерных каскадов является следствием свойств и законов, в справедливости которых нет никаких оснований сомневаться, во всяком случае, в интервале еще нескольких десятков Бэв.

Тем не менее в последнее время появились работы, в которых на основе ускорительных экспериментальных данных делаются попытки снова возродить модель трубки /см., например, работу Е. Фридлидера /5/ /.

Так как механизм взаимодействия быстрых частиц с ядрами имеет существенное значение для интерпретации многих явлений в области высоких энергий и существенно сказывается на результатах расчетов пучков частиц для вновь проектируемых ускорителей, мы еще раз вернулись к этому вопросу.

На быстродействующей электронной счетной машине методом Монте-Карло было рассчитано несколько десятков тысяч внутриядерных каскадов в нуклон-ядерных и пион-ядерных взаимодействиях в интервале энергий от 5 до 30 Бэв.

Способ расчета лишь в некоторых деталях отличается от описанного в нашей работе /3/; в частности, принята во внимание диффузность границы ядра и более точно учтен закон сохранения энергии-импульса при неупругих взаимодействиях внутри ядра^{x/}.

Сравнение результатов этих расчетов с опытом показало, что распределение вторичных частиц различных сортов по множественности, их импульсные и угловые распределения, коэффициент неупругости хорошо согласуются с результатами измерений.

О степени согласия эксперимента и теории для случая нуклон-ядерных взаимодействий можно судить по таблице 1 и рис. 1, где приведена часть полученных нами результатов.

x/ Мы потребовали выполнения закона сохранения энергии для каждого элементарного акта взаимодействия. Это реализовалось последовательной выборкой π -мезона до тех пор, пока полная энергия в системе центра инерции сталкивающихся частиц не была исчерпана.

Аналогичное согласие наблюдается в случае взаимодействия π^- -мезонов с ядрами. Это показано, например, на рис. 2 и 3, где приведены импульсное и угловое распределения γ -квантов, образующихся при распаде нейтральных π^- -мезонов, генерированных пучком первичных π^- -мезонов в углеродной мишени /подробнее см. /8/.

С экспериментом хорошо согласуются также результаты расчетов внутриядерных каскадов с образованием странных частиц /см. рис. 4/. Используемые при вычислении этих каскадов характеристики неупругих $\pi-N$ и $N-N$ взаимодействий с рождением гиперонов и характеристики гиперон-нуклонных взаимодействий частично брались из опыта, частично были вычислены теоретически /ср. /8-10/.

С другой стороны, результаты расчетов на основе модели трубки лежат далеко за экспериментальной ошибкой. Аналогичное заключение получено в недавней работе /11/.

К.Д. Толстов /12/ подробно проанализировал экспериментальные работы, в которых получены заключения о трубчатом механизме нуклон-ядерных взаимодействий в области ускорительных энергий /см. /5,13/ и др./.. Он показал, что все они имеют серьезные дефекты методического характера /например, работа Е. Фридлендера /5/ основана на экспериментальных данных, в которых пропущены важные геометрические факторы/. Введение поправок в эти работы устраняет противоречия с механизмом внутриядерных каскадов.

Таким образом, наши расчеты вместе с анализом экспериментальных работ, выполненным К.Д. Толстовым, позволяют утверждать, что каскадный механизм взаимодействия быстрых частиц с ядрами хорошо согласуется с известными в настоящее время экспериментальными данными во всей области ускорительных энергий.

Заметные отклонения наблюдаются лишь при рассмотрении некоторых парциальных сечений, например сечения образования дейтерия. Для согласования с экспериментом в этих случаях требуется более детальное квантово-механическое рассмотрение: в частности, - более точный учет взаимодействий с периферическими нуклонами /16/.

В области сверхвысоких энергий $T > 30$ Бэв экспериментальные данные содержат большие ошибки, и их можно согласовать как с моделью внутриядерного каскада, так и с моделью трубки. Мы хотим, однако, подчеркнуть, что и в этом случае модель трубки не является необходимой для объяснения известных в настоящее время экспериментальных данных.

Пользуясь случаем, мы хотим также обратить внимание на одно весьма распространенное недоразумение. При очень больших энергиях, вследствие релятивистского сжатия, время взаимодействия первичной частицы с ядром-мишенью настолько мало, что взаимодействие не успевает распространиться в направлении, перпендикулярном скорости первичной частицы, и оказывается сконцентрированным в трубке, которую первичная частица вырезает в ядерном веществе. Очень часто это рассматривается как наглядный аргумент в пользу механизма трубки. Однако такая физическая картина связана лишь с кинематикой процесса и не противоречит ни каскадному, ни трубчатому механизму.

Для механизма трубки характерным является одновременное взаимодействие первичной частицы сразу со всеми или с большинством нуклонов трубки, которая становится

единой возбужденной системой. При каскадном же механизме происходят последовательные взаимодействия с отдельными нуклонами трубки.

Л и т е р а т у р а

1. N.Metropolis, B.Bivins et al. Phys. Rev., 110, 185, 204 (1958).
2. V.S.Barashenkov et al. Nucl. Phys., 14, 522 (1960); Атомная энергия, 5, 453 /1958/.
3. V.S.Barashenkov, V.M.Maltsev, E.K.Mihul. Nucl. Phys., 24, 642 (1961). Атомная энергия, 10, 156 /1964/.
4. J.Ciulli, V.V.Glagolev et al. Nuovo Cim., 25, 1197 (1962).
5. E.M.Fridlander et al. Phys. Rev. Lett., 7, 25 (1961).
6. В.А.Беляков, А.Бояджиев и др. Препринт ОИЯИ (в печати).
7. В.Б. Любимов, Му Цзунь, М.И. Подгорецкий, С.И. Портнова, В.Н. Стрельцов, З. Трка. ЖЭТФ, 44, 760 /1963/.
8. V.S.Barashenkov, E.K.Mihul, Huang Tzu-tzan. Acta Phys. Polonica, 20, 657 (1961).
9. V.S.Barashenkov, V.M.Maltsev, Huang Tzu-tzan. Acta Phys. Polon. /в печати/.
10. V.S.Barashenkov, D.I.Blokhintsev et al. Nucl. Phys. /в печати/.
11. Y.K.Lim. Nuovo Cim., 26, 1221 (1962).
12. K.D.Tolstov. Nucl. Phys. /в печати/.
13. A.Barbaro-Galvieri et al. Nuovo Cim., 21, 469 (1961).
14. S.Laj, I.Pal, R.Ragehaven. Nucl. Phys., 31, 415 (1962).
15. W.O.Look - цитируется по /14/; F.F.Abraham, R.M.Kalbach. Nuovo Cim., 26, 717 (1962).
16. В.С. Барашенков, В.М. Мальцев. Известия АН СССР, 28, 1089 /1962/.
17. В.А. Беляков, Ван Юн-чан и др. Препринт ОИЯИ Р-1138, Дубна, 1962.
18. J.Bartke, R.Budde et al. Nuovo Cim., 24, 876 (1962).
19. R.L.Jain, H.C.Glane, G.N.Srisastava, P.D.Bharadwaj. Nuovo Cim., 21, 859 (1961).

Рукопись поступила в издательский отдел
20 июня 1963 г.

Т а б л и ц а

Среднее число ливневых частиц, рождающихся при взаимодействии протонов с ядрами фотоэмulsiona

Тип ядра	T = 9 Бэв		T = 25 Бэв	
	Опыт /2/	Теория	Опыт x/	Теория
Группа легких ядер	$3,0 \pm 0,2$	2,8	$5,15 \pm 0,23$	4,9
Группа тяжелых ядер	$3,5 \pm 0,3$	3,7	$6,8 \pm 0,4$	6,8
В расчете на среднее ядро фотоэмulsiona	$3,2 \pm 0,2$	3,4	$6,6 \pm 0,1$	6,2

x/ Приведены средние значения для работ /13-15/.

8

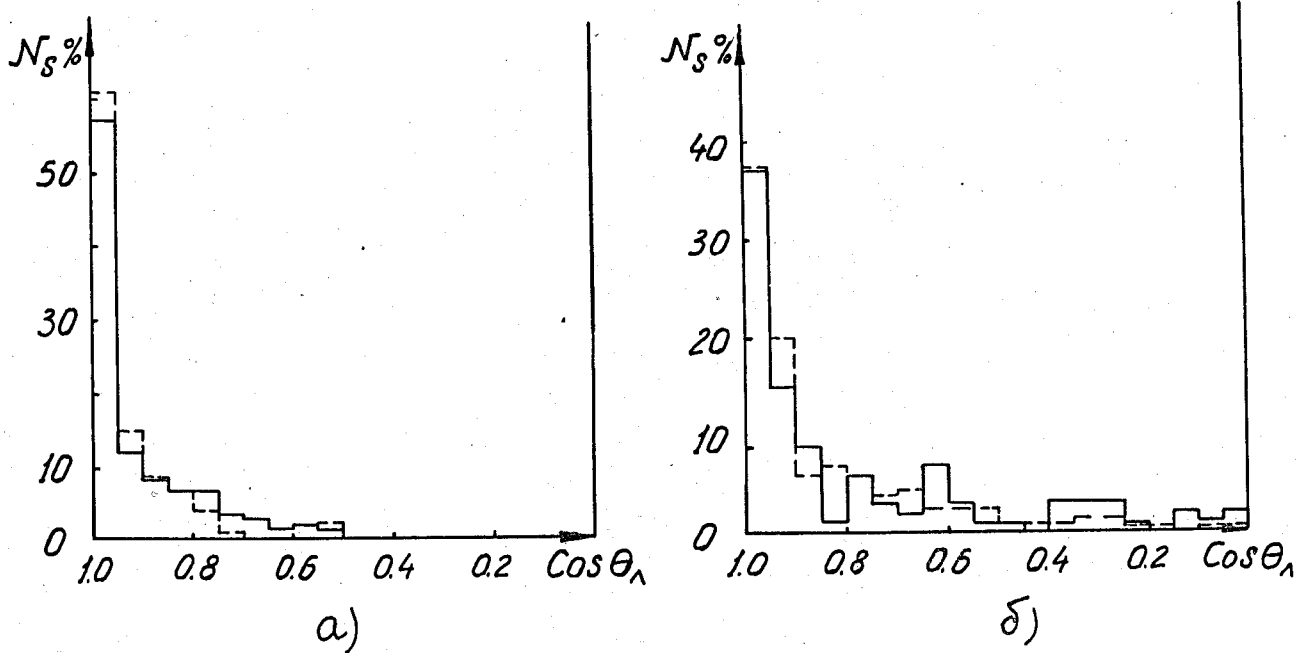


Рис. 1. Угловые распределения π^- -частиц; а/группа легких ядер, б/группа тяжелых ядер. Пунктирные гистограммы представляют экспериментальные данные из работы /19/. Энергия первоначальных протонов - 25 Бэв. Лабораторная система.

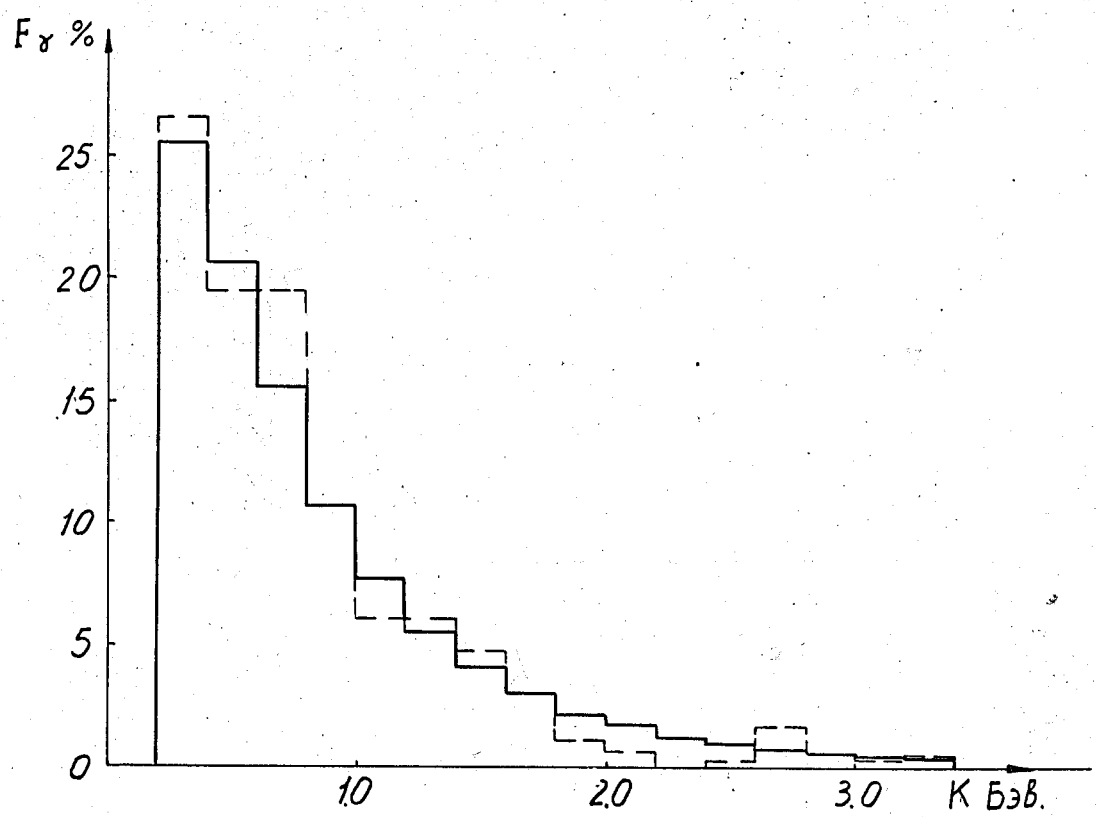


Рис. 2. Импульсный спектр γ -квантов, образующихся при облучении углеродной мишени в пучке π^- -мезонов с энергией 7 Бэв ($\pi^- + C^{12} \rightarrow \pi^0 + \dots + \pi^0_{\gamma}, 2\gamma$). Пунктиром обозначена экспериментальная гистограмма из работы /19/.

7

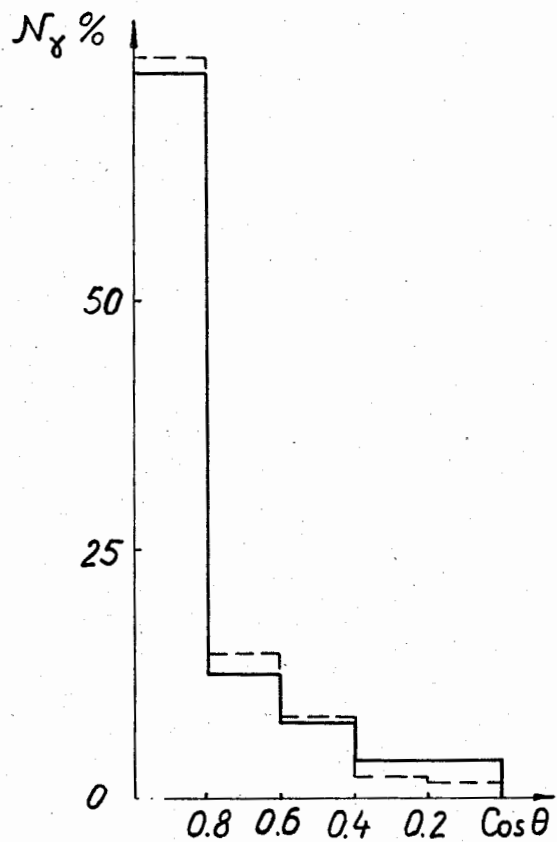


Рис. 3. Угловое распределение γ -квантов, образующихся при облучении углеродной мишени в пучке π^- -мезонов с энергией 7 Бэв. Пунктир - экспериментальная гистограмма из работы /17/.

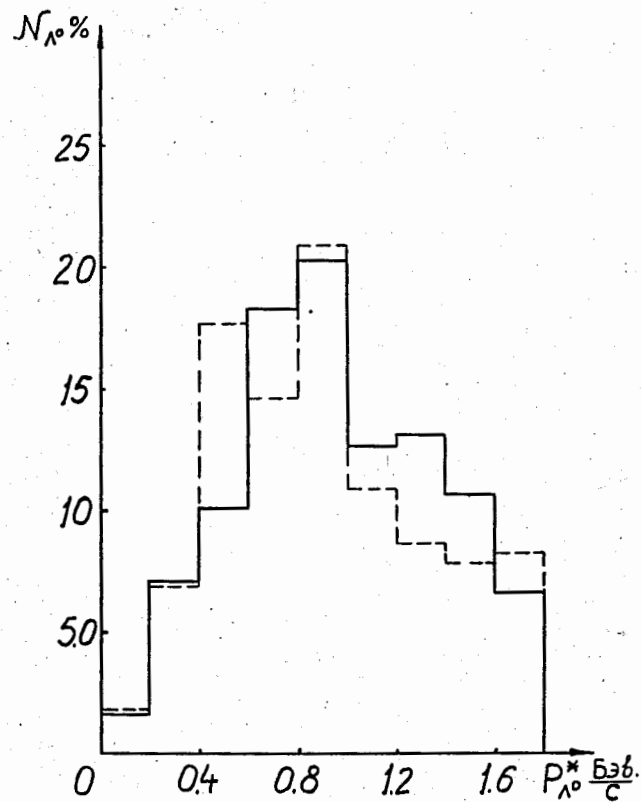


Рис. 4. Импульсный спектр Λ^- -гиперонов, рождающихся при взаимодействии с ядром углерода π^- -мезонов с энергией 7 Бэв. Пунктир - экспериментальная гистограмма из работы /17/. Система центра масс пион-нуклон.

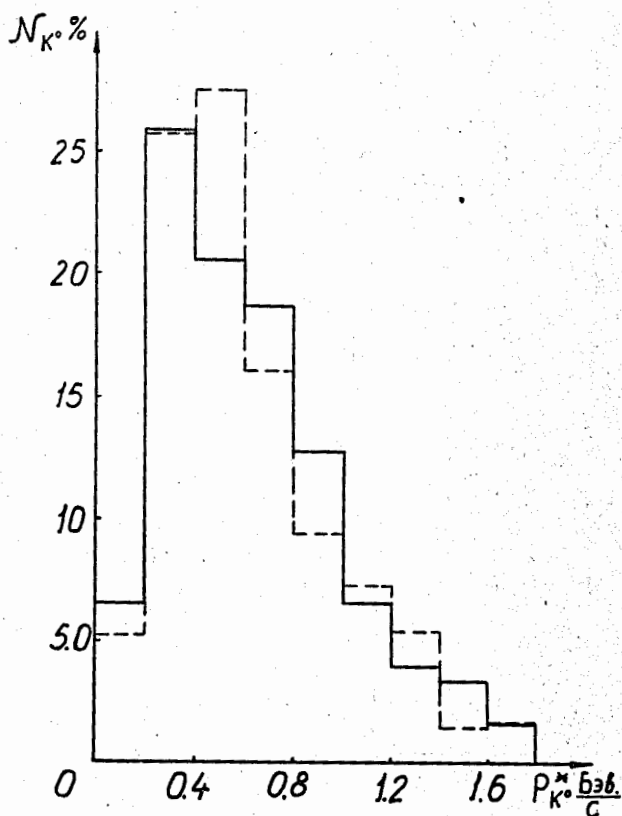


Рис. 5. Импульсный спектр K мезонов, рождающихся при взаимодействии с ядром углерода π^- -мезонов с энергией $T = 7$ Бэв. Пунктир - экспериментальная гистограмма из работы [17]. Система центра масс пион-нуклон.