

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

886/84

13/11-84

P2-83-770

Н.С.Амелин, В.С.Барашенков

ВНУТРИЯДЕРНЫЙ КАСКАД
С КВАРК-ГЛЮОННЫМИ СТРУНАМИ

Направлено в журнал "Ядерная физика"

1983

Поскольку атомное ядро представляет собой нуклонную среду значительных размеров, оно может служить пространственно-временным анализатором динамики адрон-адронных взаимодействий и, в частности, перехода кварков в адроны. Для интерпретации таких процессов можно воспользоваться моделью внутриядерных каскадов, введя в нее определенные предположения о механизме адрон-адронного взаимодействия.

Применимость модели внутриядерных каскадов, не принимающей во внимание пространственно-временной "размазки" адрон-адронных взаимодействий, ограничена энергиями $T^x \lesssim 10$ ГэВ в случае столкновений адронов с ядрами и в несколько раз меньшими энергиями, когда рассматриваются столкновения ядер^{1,2/}. При больших энергиях множественность рождающихся низкоэнергетических частиц, характеризующих разветвленность ("мощность") теоретического каскада, превосходит экспериментальную и довольно быстро возрастает при увеличении энергии. В работах^{3-5/} показано, что для улучшения согласия с опытом необходимо учитывать время формирования вторичных частиц во внутриядерных столкновениях.

Нами разработана модифицированная модель внутриядерных каскадов, в которой наряду с частицами, входящими в состав барионного 56-плета и мезонного 35-плета, в развитие каскадной лавины учитываются новые физические объекты - кварк-глюонные струны, которые могут распасться или же успеть провзаимодействовать с внутриядерными нуклонами. Это снижает множественность частиц, образующихся в адрон-ядерном взаимодействии, а главное - позволяет следить за динамикой рождения и распада таких струн, то есть анализировать процессы перехода кварков в адроны.

x/ Здесь и везде далее T - кинетическая энергия первичной частицы в лабораторной системе координат, P_L и $\beta = P_L / (T + M)$ - ее импульс и скорость, $s^{1/2}$ - полная энергия сталкивающихся частиц в системе их центра масс, P_\perp и P_\parallel - поперечная и продольная компоненты импульса вторичной частицы, $x = 2ps^{-1/2}$ - феймановская переменная, $\eta = -\ln(\epsilon \theta_L / 2)$, θ_L - угол вылета частицы в лабораторной системе координат.

В основу нашей модели положен описанный в работе^{/6/} кварковый механизм взаимодействия высокоэнергетических адронов. В результате такого взаимодействия образуется одна или две струны с кварками или с кварком и дикварком на концах. Предполагается, что эти струны обладают такими же свойствами и, в частности, взаимодействуют с внутриядерными нуклонами таким же образом, как и адроны с данным кварковым составом^{X/}. Отличие состоит лишь в величине массы, ширине и модах распада.

Ширину распада Γ (она считается одинаковой для всех струн) можно рассматривать как феноменологический параметр и определять его из сравнения каскадных расчетов с экспериментом. Известны также модельные оценки $\Gamma \sim 0,5 \text{ ГэВ}^{1/7/}$.

В качестве первого приближения будем считать, что в точке рождения промежуточной кварк-антикварковой пары распространяющаяся внутри ядра струна разрывается на две новых с кварковым составом, определяемым их концами. Расчет распада струн, вылетевших из ядра, производится в терминах переменной $w = p_{\parallel} + E$ (p_{\parallel} - продольный импульс, E - энергия струны) - так, как это описано в нашей работе^{/6/}. Распад может происходить до тех пор, пока это кинематически возможно.

Недостатком такого подхода является то, что в каждый момент времени может родиться адрон с любым кинематически допустимым значением импульса, в то время как динамические струнные модели^{/7/} говорят, что первым рождается всегда самый медленный адрон. Вообще говоря, это обстоятельство можно учесть путем введения соответствующих феноменологических условий, регулирующих распад струны. Однако на рассматриваемые ниже средние величины это влияет слабо.

Важно отметить, что при уменьшении энергии, когда кварк-глюонные струны распадаются практически сразу же после их образования, наша модифицированная модель автоматически переходит в обычную каскадную модель с резонансами. При еще меньших энергиях, когда и резонансные частицы распадаются вблизи точек их рождения, остается лишь пион-нуклонный каскад, описанный в работах^{/1,2,8/}.

При высоких энергиях необходимо принимать во внимание уменьшение плотности ядерного вещества в процессе развития внутриядерного каскада (эффект трейлинга). Это очень существенно, когда в адрон-нуклонных

столкновениях рождается большое число частиц. В рассматриваемой нами модели в каждом неупругом внутриядерном столкновении рождается не более двух "частиц" - струн, поэтому трейлинг менее важен. Кроме того, далее мы ограничимся рассмотрением ливневой компоненты вторичных частиц, на которую трейлинг влияет значительно слабее, чем на низкоэнергетические частицы. Учитывая эти соображения, мы пока пренебрегли эффектом трейлинга, что позволило использовать версию каскадной модели^{/8/}, в которой не меняется пространственное распределение нуклонов, и существенно упростить расчет.

На рис.1 показано, как результаты расчетов зависят от величины Γ . Видно, что эта величина заключена в пределах $0,5 - 1 \text{ ГэВ}$. Наилучшее согласие с опытом получается при значении $\Gamma = 0,7 \text{ ГэВ}$, которое и используется во всех приведенных ниже результатах.

Рис.2 иллюстрирует хорошее согласие расчетной и экспериментальной средней множественности рождающихся частиц. В качестве переменных использованы отношения $R = n_{\pm}^{pA} / n_{\pm}^{pp}$ и $\bar{v} = A \sigma_{in}^{pp} / \sigma_{in}^{pA}$, где A - массовое число ядра-мишени, n_{\pm}^{pA} - средняя множественность заряженных частиц в неупругом столкновении протона с ядром, n_{\pm}^{pp} - соответствующая множественность для p-p столкновения, σ_{in}^{pp} и σ_{in}^{pA} - сечения неупругого протон-протонного и протон-ядерного взаимодействия.

На следующем рисунке сравниваются инклюзивные теоретическое и экспериментальное распределения рождающихся частиц по импульсам. В соответствии с экспериментом число мезонов резко (на порядки) убывает с ростом их импульса, в то время как множественность нуклонов остается почти неизменной (эффект "лидирования").

Энергетическая зависимость средних угловых распределений вторичных частиц показана на рис.4, их зависимость от массового числа ядра-мишени - на рис.5. Во всех случаях имеет место хорошее согласие с опытом.

Следует, однако, иметь в виду, что хорошее согласие расчетных и экспериментальных данных на рис.1-5 само по себе еще недостаточно для вывода о справедливости каскадной модели в области высоких энергий, поскольку данные рис.1-5 относятся только к высокоэнергетической компоненте каскадных частиц. Для более определенных выводов необходим анализ низкоэнергетических частиц, что связано с трудным расчетом возбуждения и последующего распада ядра (одновременно с учетом трейлинга и многочастичных взаимодействий, когда с одним нуклоном взаимодействуют сразу несколько частиц) и является предметом дальнейшего рассмотрения.

X/ Сечения взаимодействия струны с нуклоном полагались равными сечениям соответствующих адрон-нуклонных взаимодействий. При этом для плохо известных сечений взаимодействия высокоэнергетических гиперонов и резонансных частиц использовались некоторые аппроксимационные выражения.

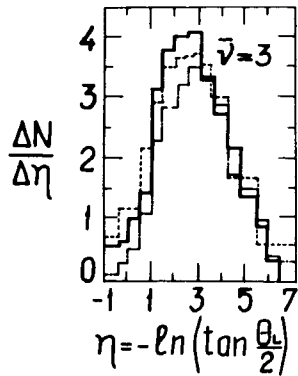


Рис. 1.

Зависимость быстрого распределения заряженных частиц от ширины распада струны Г.

Пунктирная гистограмма - экспериментальные данные для неупругого взаимодействия протона с ядром серебра при $T=200$ ГэВ^{9/}. Сплошная и штрих-пунктирная гистограммы - соответствующий теоретический расчет для $G=0,4$ и 1 ГэВ. Рассматриваются частицы со скоростями $\beta > 0,85$.

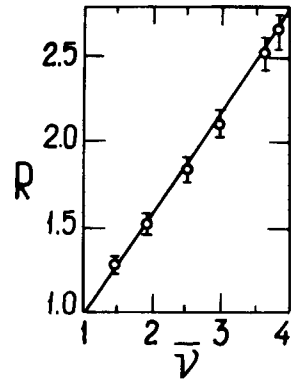


Рис. 2.

Зависимость средней множественности ливневых частиц ($\beta > 0,8$) от ядермишени.

Протон-ядерные взаимодействия при $T=200$ ГэВ. Прямая - расчет, точки - эксперимент^{10/}.

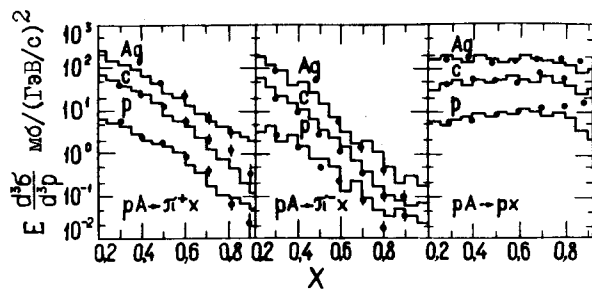


Рис. 3. Инклюзивные сечения образования протонов и π^\pm - мезонов в неупругих столкновениях $p+p$, $p+^{12}C$, $p+^{108}Ag$ при $p_L = 0,3$ ГэВ/с и $T=100$ ГэВ.

Гистограммы - расчет, экспериментальные точки - из работы^{11/}.

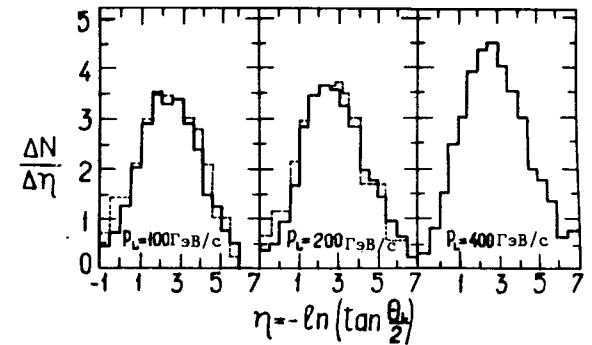


Рис. 4. Угловые распределения заряженных частиц в неупругих взаимодействиях $p+^{208}Ag$. Сплошные гистограммы - расчет, пунктирные - экспериментальные данные^{9,12/}. Рассматриваются частицы со скоростями $\beta > 0,85$.

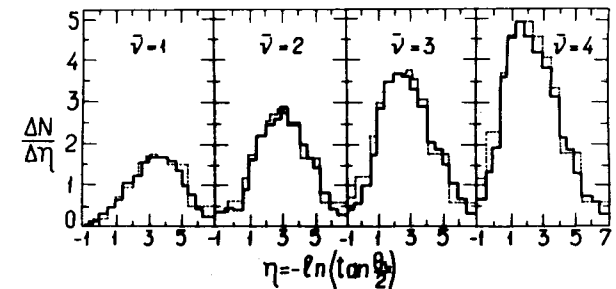


Рис. 5. Угловые распределения заряженных частиц в неупругих столкновениях $p+p$, $p+^{27}Al$, $p+^{208}Ag$, $p+^{238}U$ при $T=200$ ГэВ. Скорости частиц $\beta > 0,85$. Обозначения - как на рис. 4.

Литература

- I. Barashenkov V.S., Kostenko B.F., Zadorogny A.M.
Nucl. Phys., 1980, v.A338, p.413.
2. Барашенков В.С., Жереги Ф.Г., Мусульманбеков Ж.Ж. ОИЯИ, P2-83-II7, Дубна, 1983.
3. Давиденко Г.В., Николаев Н.Н. ЯФ, 1976, т.24, с.77.
4. Левченко Б.Б., Николаев Н.Н. ЯФ, 1983, т.37, с.1016.
5. Chiu C.V., He Z., Tow D.M. Phys. Rev., 1982, v.D25, p.2911.
6. Амелин Н.С., Барашенков В.С., Славин Н.С. Препринт ОИЯИ, P2-83-769, Дубна, 1983.
7. Casher A., Neuberger H., Nussinov S. Phys. Rev., 1979, v.D20, p.179.
8. Амелин Н.С., Барашенков В.С. ОИЯИ, P2-12616, Дубна, 1979; ОИЯИ, Б1-2-12985, Дубна, 1979.
9. Hallewel C. et al. Phys. Rev. Lett., 1977, v.39, p.1999
10. Busza W. et al. Proc. of the XVIII intern. conf. on high energy phys., Tbilisi, 1976.
- II. Barton B.S. et al. Phys. Rev., 1983, v.D27, p.2580.
12. Eliaj J.E. et al. Phys. Rev., 1980, v.D22, p.13.

Рукопись поступила в издательский отдел
11 ноября 1983 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги,
если они не были заказаны ранее.

D3-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
D13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
D1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
D1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
D4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
D1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
D2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Амелин Н.С., Барашенков В.С.
Внутриядерный каскад с кварк-глюонными струнами

P2-83-770

Рассмотрен высокоэнергетический внутриядерный каскад адронов и короткоживущих физических объектов - кварк-глюонных струн. Учтена конкуренция процессов распада и взаимодействия струн с внутриядерными нуклонами. Результаты расчетов взаимодействия протонов высокой энергии с различными атомными ядрами согласуются с экспериментальными данными по выходу ливневых частиц при определенной ширине распада струны.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Amelin N.S., Barashenkov V.S.
Intranuclear Cascade with Quark-Gluon Strings

P2-83-770

High energy intranuclear hadrons and short-lived physical objects (quark-gluon strings) cascade is considered. The competition of decay processes and interaction of strings with intranuclear nucleons is taken into account. The results of calculating the high energy proton interaction with different atomic nuclei agree with experimental data on the yield of shower particles at a definite width of string breaking.

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой