

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

P2-84-369

Н.С.Амелин, В.С.Барашенков, Н.В.Славин

**ЭКСКЛЮЗИВНОЕ ОПИСАНИЕ АДРОН-АДРОННЫХ
И АДРОН-ЯДЕРНЫХ СТОЛКНОВЕНИЙ
ПРИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ
НА ОСНОВЕ ДУАЛЬНОЙ ПАРТОННОЙ МОДЕЛИ**

Направлено на VII Международный семинар
по проблемам физики высоких энергий:
мультикварковые взаимодействия и квантовая
хромодинамика, Дубна, 1984 г.

1984

Если для расчета "центральных столкновений" адронов с большой передачей импульса и малыми параметрами удара хорошим приближением оказывается квантовоехромодинамическая теория возмущений, то для описания "периферических столкновений", дающих основной вклад в сечения взаимодействия частиц, в настоящее время существуют лишь модельные подходы в большей или меньшей степени, основанные на различных феноменологических предположениях. По существу, здесь решается обратная задача: из сравнения расчетов с экспериментом по взаимодействиям адронов извлекаются сведения о динамике сложного акта адронного взаимодействия.

Поскольку опыты со свободными адронами дают сведения о результирующих, проинтегрированных по времени взаимодействия характеристиках, то для получения информации об эволюции процесса столкновения приходится привлекать ядерные реакции. Образно говоря, атомное ядро служит своеобразной микроскопической трековой камерой, с помощью которой можно проследить за поведением отдельных физических компонентов, образующихся на разных этапах эволюции адрон-адронного взаимодействия.

Среди большого числа обсуждающихся в литературе подходов к описанию взаимодействия адронов, пожалуй, наиболее многообещающим выглядит подход, подсказываемый топологическим разложением бинарной кварк-глюонной амплитуды адронного взаимодействия. Если в этом разложении ограничиться только планарными и цилиндрическими диаграммами, отвечающими t -канальному обмену соответственно полюсами Редже и полюсом Померанчука, то можно считать, что в момент соударения первичных частиц происходит либо аннигиляция медленных валентных кварков с образованием одной кварк-глюонной струны, либо цветовой перезарядка путем обмена глюонами, когда образуются две кварк-глюонные струны, разлетающиеся в системе центра масс сталкивающихся адронов в противоположных направлениях. Как показывает анализ, кинематические свойства этих струн существенно различны, и их можно рассматривать как независимые физические объекты. В дальнейшем кварк-глюонные струны разрываются вакуумными кварк-антикварковыми парами, порождая ливни адронов - происходит процесс фрагментации находящихся на концах струн кварков /антикварков/ или кварка и дикварка в адроны.

При небольших энергиях сталкивающихся частиц струны фактически не отличаются от резонансов /в частности, ширина их распада $\Gamma \sim M$ /. При столкновении высокоэнергетических адронов кварк-глюонные струны имеют очень большие массы, ширина распада таких струн $\Gamma \sim \hbar / \Delta t \sim \hbar c / \Delta x \sim 1 \text{ ГэВ}$, где $\Delta x \sim 0,2 \text{ фм}$ - размер

области образования струн /области конфайнмента/. Величину Γ можно рассматривать как одинаковый для всех струн феноменологический параметр.

В отдельных аспектах, особенно для инклюзивных процессов, подобная модель рассматривалась многими авторами /1-5/. Оценки более сложных топологических диаграмм /рождение большого числа струн в многопомеронных процессах/ даны в /6/.

Нами разработана эксклюзивная монте-карловская модель неупругих адрон-адронных взаимодействий, применимая при энергиях $T > 10$ ГэВ, в которой для каждого отдельного акта взаимодействия выполняются законы сохранения энергии-импульса, электрического и барионного зарядов, странности. В конкретных расчетах мы не рассматривали $\bar{p}p$ -взаимодействия и рождение очарованных частиц. Их учет не вызывает принципиальных затруднений.

В случае мезон-нуклонных взаимодействий для процессов с обменом квантовыми числами тип кварков /антикварков/ и дикварков на концах струны, уносящий весь адронный импульс, определяется видом самой диаграммы. Для процессов с померонным обменом, когда образуются две кварк-глюонные струны, предполагается, что кварки /антикварки/ имеют равную, не зависящую от их аромата, вероятность оказаться на концах струны, и определенное распределение по доле адронного импульса. Поперечным движением кварков в быстром адроне можно пренебречь.

Вероятность обнаружить на конце струны дикварк с определенным значением спина и изоспина определяется условием, когда сталкивающиеся и рождающиеся адроны принадлежат основным состояниям 35- и 56-плетов группы SU(6). Если учесть, что полная волновая функция трех барионных кварков, зависящая от унитарных, спиновых и пространственных переменных, симметрична, то можно определить спиновые и изотопические состояния дикварка в начальном барионе /барионах/, а если предположить, что дикварк в процессе взаимодействия сохраняет свой спин и изоспин, то установить и конечные барионные состояния. Мы также исходили из предположения, что функции импульсного распределения валентных кварков /антикварков/ в сталкивающихся адронах во всей области изменения x являются произведением функций распределения этих кварков вблизи $x \approx 0$ и $x \approx 1$, и воспользовались тем, что поведение функций распределения медленных валентных кварков определяется параметрами соответствующих полюсов Редже /1/.

Разрыв образующихся в адронном соударении струн моделируется путем независимой фрагментации находящихся на их концах кварков /антикварков/ или дикварков в наблюдаемые адроны аналогично способу, подробно рассмотренному в /4/. Процесс фрагментации обрывается на некотором минимальном значении переменной светового конуса $W = p_{11} + E$, где p_{11} и E - продольный импульс и полная энергия фрагментирующего кварка /антикварка/ или дикварка. Феноменологический параметр W_{min} можно определить путем сравнения высот расчетного и экспериментального быстротных распределений рож-

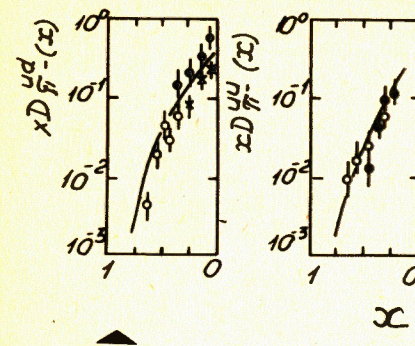


Рис.1. Функции фрагментации дикварков различных типов. Кривые - расчет. Экспериментальные точки \circ, \bullet, \times относятся соответственно к $p-p$, $\bar{\nu}-p$ и $\mu-p$ взаимодействиям /5/.

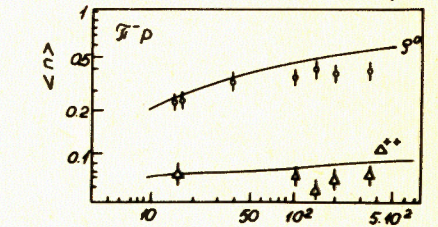
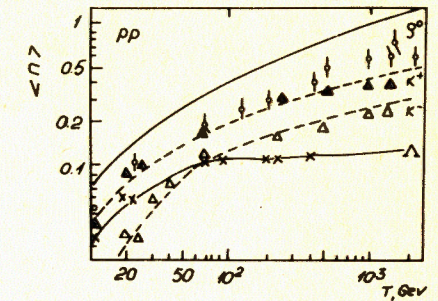
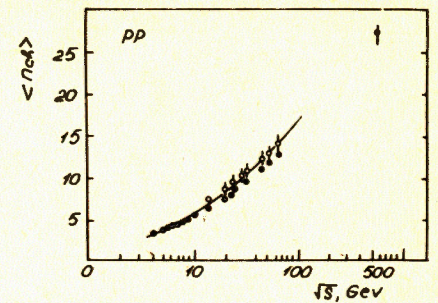


Рис.2. Средняя множественность частиц в неупругих $p-p$ и $\pi-p$ столкновениях. Кривые - результат расчета, точки - эксперимент /12/.

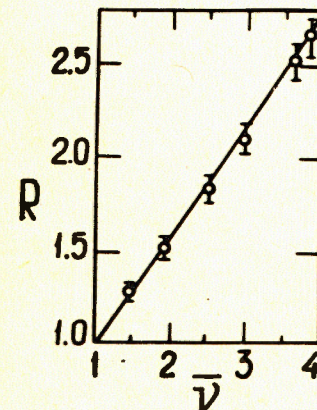


Рис.3. Зависимость средней множественности ливневых частиц $\langle n_{ch} \rangle$ от ядра-мишени в протон-ядерных столкновениях при $T = 200$ ГэВ. $\bar{\nu} = A \sigma_{in}^{pp} / \sigma_{in}^{pA}$, $R = n_{\pm}^{pA} / n_{\pm}^{pp}$. Кривая - расчет, точки - эксперимент /13/.

дающихся частиц, которые весьма чувствительны к его величине. Полученное таким образом значение $W_{\min} = 0,9$ ГэВ оказывается пригодным для описания любых частиц в π -N и N-N столкновениях /подробнее о методе расчета см. /7/ /.

Существенно заметить, что все параметры, определяющие процесс фрагментации, за исключением W_{\min} фиксируются независимым образом путем сравнения расчетных функций фрагментации с экспериментальными, полученными в процессах с большой передачей импульса /например, в глубоконеупругих столкновениях лептонов/. Разделение процессов с обменом реджионами (σ_R) и померонами (σ_P) выполнялось на основе параметризации энергетической зависимости полного сечения $\sigma_{\text{tot}} = \sigma_P + \sigma_R / \sqrt{s}$, которая справедлива до выхода сечений на плато. При еще больших энергиях считалось, что идет только процесс с обменом помероном.

О том, насколько точно наша модель описывает эксперимент, можно судить по рис.1-3. Наибольшие отклонения от эксперимента имеют расчетные данные по выходу лидирующих частиц. Например, расчетная множественность протонов в неупругих p-p столкновениях при $T = 100$ ГэВ $\langle n_p \rangle_{\text{теор}} = 1,2$, а экспериментальная $\langle n_p \rangle_{\text{эксп}} = 1,42 \pm 0,1$; при $T = 1000$ ГэВ $\langle n_p \rangle_{\text{теор}} = 1,0$, а $\langle n_p \rangle_{\text{эксп}} = 1,45 \pm 0,1$. Это обусловлено прежде всего тем, что наша модель не учитывает дифракционного рождения частиц, которое дает вклад в события с малой множественностью и существенно влияет на свойства высокоэнергетической компоненты вторичных частиц.

При расчете взаимодействий свободных адронов в используемой процедуре моделирования распада кварк-глюонных струн не рассматривается временная последовательность распада - с опытом сравнивается лишь конечный результат этого процесса. Чтобы получить представление о пространственно-временной картине взаимодействия, следует рассмотреть столкновения адронов с ядрами, где кварк-глюонные струны могут взаимодействовать с нуклонами ядра раньше, чем произойдет их полный распад, и это должно сказаться на свойствах образующегося внутриядерного каскада.

Для описания неупругих взаимодействий высокоэнергетических частиц и ядер с ядрами в течение долгого времени использовалась модель внутриядерных каскадов, основанная на рассмотрении отдельных столкновений внутри ядра при условии, что их продолжительностью Δt можно пренебречь. 10-15 лет назад трудно было указать эксперимент, который бы не объяснялся этой моделью /8/.

В настоящее время можно считать твердо установленным, что каскадная модель противоречит эксперименту при энергиях больше десятка ГэВ в случае адрон-ядерных столкновений и при энергиях в несколько ГэВ/нуклон в случае столкновения ядер /9/. Как показывает анализ, в основе этих противоречий лежит прежде всего именно пренебрежение пространственно-временной эволюцией отдельных двухчастичных взаимодействий внутри ядра.

Нами разработана модифицированная модель внутриядерных каскадов, где наряду с частицами, входящими в состав барионного

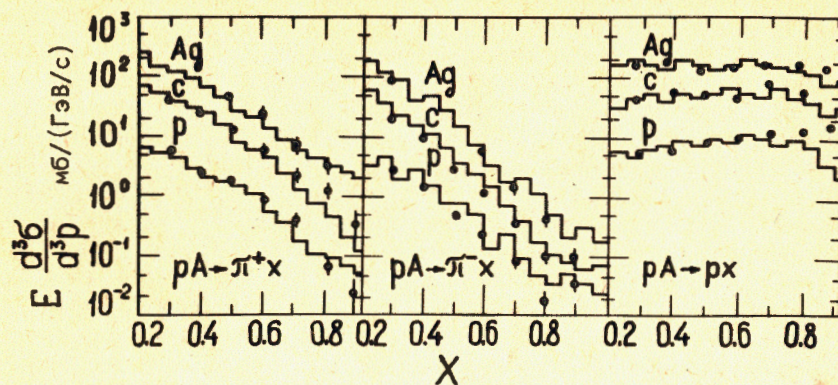


Рис.4. Инклюзивные сечения образования протонов и π -мезонов в неупругих столкновениях $p+p$, $p+^{12}\text{C}$, $p+^{108}\text{Ag}$ при $p_{\perp} = 0,3$ ГэВ/с, $T = 100$ ГэВ. Гистограммы - расчет, точки - опыт /13/.

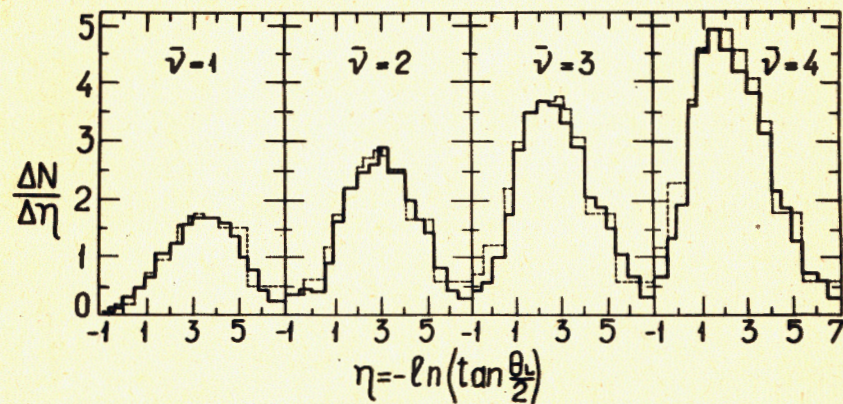


Рис.5. Угловые распределения заряженных ливневых частиц $/\beta > 0,8/$ в неупругих столкновениях $p+p$, $p+^{27}\text{Al}$, $p+^{208}\text{Pb}$, $p+^{238}\text{U}$ при $T = 200$ ГэВ. Сплошные гистограммы - расчет, пунктирные - опыт /14/.

56-плета и мезонного 35-плета, в развитии каскадной лавины учитываются кварк-глюонные струны, которые могут распадаться или же успеть провзаимодействовать внутри ядра с ядерными нуклонами. Предполагается, что эти струны обладают такими же свойствами, как и адроны с данным кварковым составом. Отличие состоит лишь в величине массы, ширине и модах распада.

В рассматриваемой нами области энергий $T \gg 10$ ГэВ ширину распада Γ считаем одинаковой для всех струн и определяем ее из сравнения каскадных расчетов с данными эксперимента. Наилучшее согласие с опытом получается при $\Gamma = 0,7$ ГэВ.

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 /8-10/.

К сожалению, в настоящее время нет достаточно удовлетворительной динамической теории, которая позволяла бы количественно рассчитывать процесс распада кварк-глюонной струны на адроны. В качестве первого приближения мы воспользовались моделью, предложенной Фелдом и Фейнманом /4/ для расчета фрагментации в столкновениях частиц и предположили, что в каждый момент времени может родиться адрон с любым кинематически допустимым значением импульса. Результаты расчета характеристик ливневых частиц показаны на рис.3-5. Как видно, теоретические данные хорошо согласуются с опытом, хотя динамические струнные модели /см., например, /11/ / подсказывают, что допущение равновероятного рождения всех кинематически допустимых адронов, по-видимому, не соответствует реальному положению дел. Из этих моделей следует, что первым рождается преимущественно самый медленный адрон. Вообще говоря, это обстоятельство можно учесть путем введения соответствующих феноменологических условий, регулирующих распад струны. Однако, как видно из приведенных данных, использованное нами грубое приближение не сказывается на рассмотренных средних величинах. Здесь необходим дальнейший анализ дифференциальных характеристик вылетающих из ядра ливневых и особенно низкоэнергетических частиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Capella A. Proc. of the Europhysics study conf., Erice, Italy, 1981, p. 199.
2. Кайдалов А.Б. ЯФ, 1981, т. 33, с. 1369; X школа физики ИТЭФ, Энергоатомиздат, М., 1983, вып.2, с. 3.
3. Dias de Deus J., Jadach S. Acta Phys.Polonica, 1978, vol.89, p. 249.
4. Field R.D., Feynman R.P. Nucl.Phys., 1978, vol. B136, p.1.
5. Sukhatme U.P. et al. Phys.Rev., 1982, vol. D25, p. 2975.
6. Тер-Мартirosян К.А. Препринт ИТЭФ, 134, М., 1982.
7. Амелин Н.С., Барашенков В.С., Славин Н.В. ОИЯИ, P2-83-769, Дубна, 1983.
8. Барашенков В.С. и др. УФН, 1973, т.109, с. 91.
9. Барашенков В.С. и др. ОИЯИ, P2-83-117, Дубна, 1983.

10. Амелин Н.С. ОИЯИ, P2-12616, Дубна, 1979; ОИЯИ, Б1-2-12985, Дубна, 1979.
11. Anderson B. et al. Phys.Rev., 1983, vol. 97, No. 2/3, p. 1.
12. Giacomelli G. Preprint IFUB, 82/23, Bologna, 1982.
Higgins P.D. et al. Phys.Rev., 1979, vol. D19, p. 65, p.731.
13. Busza W. et al. Phys.Rev.Lett., 1977, vol. 37, p. 1499;
Phys.Rev., 1983, vol. D27, p. 2580.
14. Barton D.S. et al. Phys.Rev., 1983, vol. D27, p. 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел
25 мая 1984 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

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

	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 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.
D2,4-83-179	Труды XV Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Дубна, 1982.	4 р. 80 к.
	Труды УШ Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 1982 /2 тома/	11 р. 40 к.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.

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

Амелин Н.С., Барашенков В.С., Славин Н.В. P2-84-369

Эксклюзивное описание адрон-адронных и адрон-ядерных столкновений при высоких энергиях на основе дуальной партонной модели

Рассмотрен статистический метод эксклюзивного моделирования неупругих адрон-адронных взаимодействий при высоких энергиях, основанный на механизме образования и разрыва кварк-глюонных струн. Внутри ядра эти струны ведут себя как самостоятельные короткоживущие физические объекты. Конкуренция процессов распада и взаимодействия струн с нуклонами ядра приводит к развитию внутриядерного каскада. Его анализ дает сведения о пространственно-временной картине адрон-адронного взаимодействия, которые трудно получить из экспериментальных данных по столкновениям свободных адронов. В пределе небольших энергий модель внутриядерного каскада с кварк-глюонными струнами вырождается в известную модель адронного каскада.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод авторов

Amelin N.S., Barashenkov V.S., Slavin N.V. P2-84-369
Exclusive Description of Hadron-Hadron and Hadron-Nucleus Collisions at High Energies Based on the Dual Parton Model

Statistical method is considered for exclusive simulation of high energies inelastic hadron-hadron interactions. It is based on the production and breaking of quark-gluon strings. This strings behave themselves as free short-living physical objects inside the nucleus. Competition of decay processes and string interaction with intranuclear nucleons leads to the development of intranuclear cascade. It's analysis gives a time-space picture of hadron-hadron interactions which is difficult to obtain from experimental data, concerning the free hadron collisions. Intranuclear cascade model with quark-gluon strings transforms into well known hadron cascade model.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984