

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Совет молодых ученых

Научно-методический отдел по работе с молодыми учеными
и специалистами университета управления
научных исследований СПбГУ

ЧЕЛОВЕК. ПРИРОДА. ОБЩЕСТВО АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Материалы

*14-й международной конференции
молодых ученых 26–30 декабря 2005 г.*

В 2 частях

Часть II



Издательство Санкт-Петербургского университета
2006

**МОДИФИЦИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ГЛАУБЕРА
КАК ОСНОВА ДЛЯ ПЕРВОНАЧАЛЬНОГО АНАЛИЗА
ДАННЫХ ЯДРО-ЯДЕРНЫХ СТОЛКНОВЕНИЙ**

Нами была создана базовая численная модель столкновений тяжелых ядер при высоких энергиях, позволяющая описывать основ-

Иванов Александр — студент физического факультета СПбГУ

ные экспериментальные данные на языке нуклон-нуклонных столкновений и рассчитывать зависимости физических величин в широком диапазоне изменения параметров и начальных условий. Модель рассчитана на использование в качестве базы для широкого спектра задач теоретического анализа физики столкновений тяжелых ионов, и должна позволить быстро вводить новые физические эффекты и параметры, что существенно уменьшит время, затрачиваемое на оценку их вкладов и экспериментальную проверку.

Полное описание физики столкновения протонов и ядер при высоких энергиях является сложной задачей, так как наблюдаемые величины являются суперпозицией вкладов множества различных физических процессов. Большая сложность получения аналитических решений в ряде случаев является причиной пренебрежения многими эффектами что стимулирует развитие методов численного моделирования с использованием современной вычислительной техники. Для эффективной обработки экспериментальных данных и сравнения их с теоретическими расчетами необходимо иметь возможность оперативно рассчитывать вклады различных процессов и эффектов физики элементарных частиц, иметь возможность сравнения разных физических концепций в одинаковых модельных условиях.

Современные системы параллельного вычисления открывают новые возможности для физики высоких энергий. Так как большинство задач связано с набором статистики, использование распределенных вычислительных систем почти не приводит к потерям производительности связанным необходимостью обмена данными между отдельными процессорами. Развитие GRID позволяет получить значительное число процессорных ресурсов и перейти на качественно новый уровень в моделирование процессов физики высоких энергий. Для реализации этого потенциала необходимо создание программ способных быстро включать в себя как принципиально новые физические идеи и концепции так и различные уточняющие эффекты. Оперативное получение результатов позволяет делать выводы об относительных вкладах различных процессов в наблюдаемые величины еще на этапе построения физической модели.

Модель Глаубера. Модель Глаубера [1] позволяет представить картину ядро-ядерных и протон-ядерных столкновений как совокупность отдельных нуклон-нуклонных столкновений, что позво-

ляет легко определить зависимости основных величин от энергии столкновения, атомных весов ядер участников и прицельного параметра столкновения. Эта модель использует только экспериментальные данные нуклон-нуклонных столкновений и не претендует на полноту описания. Модель Глаубера широко используется для оценки центральности столкновений в экспериментальной физике высоких энергий и как база для построения других более детальных моделей с учетом всех особенностей геометрии ядро-ядерных столкновений и их вероятностных распределений.

Основные предположения Глауберовской модели. Столкновение ядер можно рассматривать как суперпозицию независимых нуклон-нуклонных столкновений; потерями энергии в процессе нуклон-нуклонных столкновений можно пренебречь; сечение всех нуклон-нуклонных столкновений одинаково и равно сечению протон-протонного неупругого рассеяния при соответствующей энергии.

Следовательно, для ядро-ядерных столкновений множественность вторичных частиц (N_{ch}) всего столкновения можно получить из формулы $N_{ch} = N_{col} * N_{ch}^{p-p}(E)$, где N_{ch} — общее число заряженных частиц (множественность); N_{col} — число нуклон-нуклонных столкновений; $N_{ch}^{p-p}(E)$ — экспериментальная параметризация множественности в протон-протонных столкновениях

Глауберовская модель предполагает независимое распределение нуклонов. Плотность распределения в тяжелых ионах описывается формулой

$$c(r) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{r-R}{c}\right)}.$$

$R = 1.07 A^{1/3} fm$, $c = 0.545 fm$, A — количество нуклонов в ядре.

Несмотря на свою популярность, глауберовская модель имеет ряд серьезных недостатков. Первым и основным недостатком является пренебрежение законом сохранения энергии, связанным с рассмотрением нуклон-нуклонных столкновений как независимых. В процессе каждого нуклон-нуклонного столкновения рождается множество вторичных частиц, имеющих ненулевые массы и импульсы, но, так как глауберовская модель предполагает, что все нуклон-нуклонные столкновения происходят при одной энергии, равной начальной, то мы получаем явное не сохранение энер-

гии. Это очень ярко выражается в сравнении с экспериментальными данными. Стандартная глауберовская модель сильно завышает число заряженных частиц (N_{ch}). С другой стороны, глауберовская модель позволяет без привлечения дополнительной физики связать число участников столкновения (N_w) и прицельный параметр b , поэтому глауберовская модель часто используется экспериментаторами для определения центральности столкновений по данным N_w .

Модифицированная модель Глаубера. В качестве физической основы разрабатываемой численной модели была разработана «Модифицированная модель Глаубера» [2] основана на предположении, что при столкновении нуклоны теряют фиксированную долю импульса.

$$p'_a = p_a * K,$$

где

p_a — импульс нуклона до столкновения;

p'_a — импульс нуклона после столкновения;

K — модельный параметр.

Модельный параметр $K = 0.21$ был подобран из фитирования экспериментальных данных полной множественности в центральных столкновениях Pb-Pb и Au-Au [3]. Данные расчетов числа заряженных частиц с использованием разработанной модифицированной глауберовской модели показали хорошее согласие с экспериментом [3] в диапазоне от 20 до 200 GeV, что оправдывает ее использование в качестве базовой модели. Также было получено согласие с результатами других программ численного моделирования.

На основе модифицированной Глауберовской модели была разработана гибкая система моделирования столкновений тяжелых ядер на высоких энергиях [4]. Данная система включает в себя базовую численную модель ядро-ядерного взаимодействия, позволяющую рассчитывать основные физические величины в рамках нуклон-нуклонной картины столкновения и широкие возможности для дальнейшего развития.

Для расширения области применения в систему включено несколько моделей столкновения, включая широко используемую стандартную глауберовскую модель.

Алгоритм программы моделирования выполнен как объектно-ориентированный, что позволяет в дальнейшем использовать данную модель как базу для широкого спектра задач теоретического анализа физики столкновений тяжелых ионов. Гибкая структура программного кода рассчитана на быструю интеграцию новых физических эффектов и параметров. За счет выделения и локализации задач хранения и обработки результатов удалось сократить трудозатраты на введение новых физических величин. Идеология построения программного продукта позволяет использовать уже разработанные расчетные прикладные программы и статистические методы с новыми физическими моделями и позволяет достичь минимального времени между постановкой новой физической задачи и получением численных результатов.

Литература

1. Bialas A, Bleszynski M and Czyz W 1976 Nucl.Phys. B 111 461.
2. G. Feofilov A. Ivanov Journal of Physics: Conference Series 5 (2005) 230–237.
3. Back B et al (PHOBOS Collaboration) 2003 Preprint nucl-ex/0301017v1.
4. А. Иванов. «Разработка и исследование модели столкновения тяжелых ядер при сверхвысоких энергиях с использованием метода Монте-Карло». дипломный проект по специальности «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем». СПб., 2005.