

ДУВНА 71

IV МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПО ФИЗИКЕ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ
И СТРУКТУРЕ ЯДРА

СЗН(04)
М-УЗЗ



IV INTERNATIONAL CONFERENCE
ON HIGH ENERGY PHYSICS
AND NUCLEAR STRUCTURE

ДУВНА 71

СЗ41(04)
М-431

ТРУДЫ
IV МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
ПО ФИЗИКЕ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ
И СТРУКТУРЕ ЯДРА

ДУБНА 7 - 11 СЕНТЯБРЯ 1971 Г.

D1 .6349

85340

Под редакцией:

В.П.Джелелова (главный редактор),

В.Н.Покровского, В.Р.Саранцевой, Р.А.Эрамжяна

Председатель Оргкомитета проф. В.П.Джелелов

Организаторы конференции:

Международный Союз чистой и прикладной физики ,

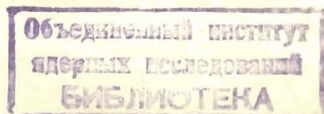
Государственный Комитет по использованию Атомной энергии СССР ,

Академия Наук СССР,

Объединенный институт ядерных исследований

Дубна 1972

Конференция поддержана ЮНЕСКО



ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В СВЯЗИ С РЕЛЯТИВИСТСКИМ УСКОРЕНИЕМ
ЯДЕР НА СИНХРОФАЗОТРОНЕ ЛАБОРАТОРИИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

А.М.БАЛДИН

Объединенный институт ядерных исследований

В августе 1970 г. на синхрофазотроне Лаборатории высоких энергий ОИЯИ был осуществлен режим ускорения дейтонов до импульса II ГэВ/с ^{/I/}. Ускорение дейтонов было достигнуто благодаря снижению в два раза скорости частиц на входе линейного ускорителя (инжектора) по сравнению со скоростью протонов и проведению ускорения в режиме синхрофазотрона в два этапа: начале на второй кратности, а после достижения предельной частоты ускоряющей системы был сделан переход на первую кратность. Предложение осуществить такой режим работы ускорителя было сделано Безногих Д.Д., Зиновьевым Л.П., Казанским Г.С., Михайловым А.И., Морозом В.И. и Павловым Н.И.^{/2/} Новый режим работы ускорителя открывает очень интересные перспективы использования как пучков релятивистских дейтонов, так и пучков моноэнергетических нейтронов, получаемых на основе реакции стриппинга. О первых экспериментах по исследованию стриппинга с помощью релятивистского дейтонного пучка нашего ускорителя сообщалось в докладе К.Д.Толстова и его соавторов, представленном на настоящую конференцию. Эти результаты показывают, что мы можем располагать пучками моноэнергетических нейтронов с интенсивностями больше 10^9 частиц в импульсе при $\frac{dP}{P} \sim 5\%$.

Поскольку ядра дейтерия обладают отношением заряда к массе примерно тем же самым, что и ядра с одинаковым количеством протонов и нейтронов, то полученный режим работы ускорителя пригоден и для ускорения ядер.

Основная проблема в использовании реализованного режима синхрофазотрона для релятивистского ускорения ядер заключается в

создании достаточно интенсивных источников полностью ионизованных атомов. Полная ионизация атомов необходима для преодоления трудностей, связанных с потерями ускоряемых частиц при соударениях с атомами остаточного газа в ускорительной системе. Хотя низкие интенсивности пучков многозарядных ионов можно получить и не прибегая к специальным мерам, Лаборатория пошла по пути создания с самого начала интенсивных источников полностью ионизованных атомов. Проблема создания таких пучков решалась в ОИЯИ в Лаборатории Г.Н.Флерова, который будучи уже в течение многих лет энтузиастом получения пучков релятивистских многозарядных ионов, оказал Лаборатории высоких энергий максимальное содействие, передав эти перспективные разработки из своей лаборатории в ЛВЭ.

Очень важным моментом для получения пучков релятивистских ядер на синхротроне ЛВЭ является создание эффективной системы медленного вывода ускоренных частиц. В настоящее время такая система полностью промоделирована и частично изготовлена.

Таким образом, в ЛВЭ созданы все условия для получения в ближайшее время интенсивных (порядка $10^8 \div 10^9$ частиц в импульсе) пучков релятивистских многозарядных ионов.

Получение пучков релятивистских ядер открывает совершенно новые возможности в ядерной физике и в физике высоких энергий. Релятивистские ядра наблюдались пока только в космических лучах, однако, такое изучение содержит много неопределенностей. Кроме того, интенсивности потоков ядер в космических лучах очень низки, а способы наблюдения малоэффективны. Даже процесс прохождения через вещество релятивистских многозарядных частиц, обусловленный атомными столкновениями, существенно нуждается в изучении. Без детального изучения процессов атомного столкновения релятивистских ядер трудно рассчитывать на прецизионные измерения явлений ядерных взаимодействий. Изучение прохождения многозарядных

релятивистских частиц представляет интерес с точки зрения проверки существующих представлений о составе космического излучения. Поскольку ионизирующая способность ядер зависит от их скорости и заряда, а оба эти параметра для частиц космического излучения неизвестны, то ряд выводов о составе космического излучения, имеющих большое значение для понимания его происхождения, может быть подвергнут изменениям в результате простейших опытов по изучению прохождения через вещество релятивистских ядер с заданными параметрами (см., например, ^{13/}). Несомненно, эти опыты должны быть в числе первоочередных.

Ускорение частиц, обладающих зарядом большими единицами, дает возможность получать энергию ускоренных частиц (при одинаковых параметрах ускорения) большую, чем энергия протонов в число раз, равное кратности заряда. Например, на дубненском синхрофазотроне можно получить ядра гелия с энергией 20 Гэв, а ядра кальция с энергией 200 Гэв. Естественно, что импульс, приходящийся на один нуклон, будет составлять 5 Гэв/с. Это соответствует отношению скорости ядер к скорости света $\beta = 0,98$, т.е. существенно релятивистскому случаю.

Столкновения сложных систем, обладающих скоростями, близкими к скорости света, не изучены. Фактически речь идет о создании новой области — релятивистской ядерной физики, которой ещё предстоит создать свои понятия и методы.

Среди первоочередных экспериментов особое внимание будет уделено изучению столкновений ядер с большими передачами импульса.

Изучение эффектов, связанных с большими передачами импульсов при столкновении лептонов с адронами или адронов с адронами, привлекает в последнее время все большее внимание. В результате многочисленных исследований были обнаружены очень интересные закономерности, носящие универсальный характер. Среди этих закономерностей

особое значение имеет масштабная инвариантность, по-видимому, отражающая очень общие и важные свойства адронной материи. Изучение явлений больших передач импульса имеет и большое прикладное значение: во-первых, возникает возможность получения вторичных мезонных пучков с энергией, значительно превышающей номинальную энергию ускорителя, например, получение мезонных пучков с энергией в несколько десятков Гэв при ускорении многозарядных ионов на дубненском синхрофазотроне, рассчитанном на ускорение протонов до энергии 10 Гэв.

Хотя теория образования вторичных пучков фактически отсутствует, в последние годы появились очень интересные соображения о глубоко неупругих столкновениях частиц. Особое значение в этой связи приобретает идея М.А.Маркова^{16/} о том, что при больших передаваемых импульсах и больших энергиях сечения неупругого рассеяния лентонов на адронах должны убывать с ростом передаваемого импульса по закону убывания сечения упругого рассеяния на точечной частице. Эта идея нашла математическое выражение в применении масштабной инвариантности А.Н.Тавхелидзе и его сотрудниками^{17/} и получила блестящее подтверждение в экспериментах на электронных ускорителях.

В работе автора была высказана гипотеза о том, что спектры вторичных частиц высоких энергий при столкновении релятивистских ядер определяются локальными свойствами адронной материи, а не геометрическими характеристиками сталкивающихся объектов. Это предположение соответствует автомоделльному характеру поведения решений некоторых задач гидродинамики (задача сильного точечного взрыва) и означает, что при масштабном преобразовании всех импульсов вида $p \rightarrow \xi p$ формфакторы, другие матричные элементы и сечения преобразуются как однородные функции соответствующей размерности. Естественно, что масштабная инвариантность выполняется

тем лучше, чем больше квадраты импульсов по сравнению с квадратами масс, участвующих в процессе взаимодействия частиц. Для нашего ускорителя: $P^2/M^2 \approx 25$, т.е. масштабный закон должен хорошо проявиться. В оценку абсолютной величины сечения должна входить энергия связи или вероятность нахождения группы нуклонов в области действия многочастичных обменов. Для большой передачи энергии одной вторичной частице группа нуклонов налетающего ядра должна находиться на относительных расстояниях, меньших размеров области, в которой происходят многочастичные обмены — то-есть появление пионов с энергией, значительно превышающей энергию, которая приходится на один нуклон налетающего ядра, является следствием многонуклонного столкновения, следствием ядерного кумулятивного эффекта. Оценки ядерного кумулятивного эффекта были приведены в сообщении автора /9/. Первые опыты по обнаружению простейшего многобарийонного столкновения $d + Cu \rightarrow \pi^- + \dots$ были проведены двумя группами ЛВЭ: группой А.Д.Кириллова и группой В.С.Ставинского /10/. Результаты этих экспериментов находятся в хорошем согласии с предсказаниями простейшей модели ядерного кумулятивного эффекта /9/. В этих экспериментах энергия вторичных пионов существенно превышала кинематическую границу рождения пионов одиночным нуклоном дейтона. Причем оказалось, что отношение дифференциальных сечений образования пионов под углом 0° дейтонами и протонами $\frac{d^2\sigma_d/d\Omega dp}{d^2\sigma_p/d\Omega dp}$

при равных P/P_{max} составляет 0,05 (где P — импульс вылетающего пиона, P_{max} — его наибольшее значение, разрешенное законами сохранения) и в пределах ошибок не зависит от энергии падающих частиц и образующихся пионов. Полученные результаты показывают, что при бомбардировке мишени даже такими слабосвязанными ядрами как дейтоны выход вторичных пионов заданной энергии всего лишь в ~ 25 раз ниже, чем при бомбардировке той же мишени

протонами (при равных кинематических пределах для энергии пиона, рожденного на нуклоне мишени). Таким образом, эффект достаточно велик, чтобы представлять значительный интерес, во-первых, с точки зрения изучения процессов, описываемых диаграммами с большим числом не только частиц конечного состояния, но и с большим числом сталкивающихся частиц; во-вторых, с точки зрения получения пучков вторичных частиц с энергией, значительно превышающей номинальную энергию ускорителя.]

Детальное изучение ядерного кумулятивного эффекта в области P/P_{max} вблизи 1 и в области перехода от одночастичных к многочастичным столкновениям (для дейтонов это $P/P_{max} \approx 0,5$), зависимость этого эффекта от квантовых чисел образующихся частиц (барийное число, гиперзаряд, изоспин) составит значительную часть программы работ ЛВЭ.

Передача большой энергии ядру отдачи представляет собой проблему, в некотором смысле противоположную рассмотренной. Естественно, что для этого процесса возможны другие механизмы. Например, значительный интерес представляет механизм возникновения тяжелых фрагментов, обусловленный перестройкой ядра в результате выбивания из него "трубки" нуклонов. Получение релятивистских ядер имеет очень хорошую перспективу для исследования не только явлений фрагментации, но и для обнаружения чрезвычайно короткоживущих изотопов. Фактически для обнаружения короткоживущих "экзотических" ядер (многобарийных резонансов и систем, включающих как барионы, так и мезоны, странные и нестранные) будут применены методы физики высоких энергий (например, предлагается использовать пропановую камеру). Это открывает перспективы обнаружения состояний с временем жизни вплоть до времен "ядерного движения" \sim

10^{-23} сек. Изучение упругого и глубоко неупругого взаимодействия релятивистских ядер позволит подвергнуть проверке ряд моделей,

используемых в теории элементарных частиц, ибо ядро может служить реалистичной "кварковой" моделью релятивистского протяженного объекта, структуру которого мы умеем описывать хотя бы в нерелятивистском пределе.

Упругое рассеяние релятивистских ядер в направлении назад позволит исследовать многобарийонные обмены в релятивистской области.

В ЛВЭ создана высокая культура исследований столкновений частиц высоких энергий, идущих с малыми передачами импульса, в том числе столкновений, для которых существенна интерференция кулоновского и ядерного взаимодействий. В частности, в экспериментах группы В.А.Никитина по упругому рассеянию $p-p$ (или $p-d$) при энергиях 70 Гэв регистрировались частицы отдачи с энергией вплоть до 10^{-4} Гэв. Чисто кулоновское столкновение ядер представляет большой интерес. При столкновении ядер с большим γ возникают огромные электрические поля, для которых характерны многофотонные процессы и многофотонное кулоновское рассеяние при малых углах, являющееся хорошей моделью для исследования многочастичных обменов. Особый интерес представляют процессы взаимодействия фотон-фотон с испусканием, например, электронной или мюонной пары. Оценка сечения образования пары электронов при столкновении ультрарелятивистских заряженных частиц имеет вид ^{14/}

$$\sigma = \frac{1}{\pi} (Z_1 Z_2)^2 \frac{\mathcal{L}^4}{m_e^4} (\ln \delta)^3,$$

здесь $\gamma = \frac{S}{m_1 m_2}$ - лоренц-фактор относительного движения сталкивающихся частиц, Z_1 и Z_2 - кратности зарядов, \mathcal{L} - постоянная тонкой структуры m_e , m_1 , m_2 - масса электрона и масс сталкивающихся частиц. Эта оценка дает очень большую величину сечения. Реальная величина сечения будет значительно меньше за счёт влияния формфакторов ядер. Причём преобладающим процессом будет процесс, аналогичный неупругому столкновению электрон-ядро

обоих ядер. Хотя процесс двухфотонного столкновения скорее всего будет изучен на встречных пучках, тем не менее исследование этого процесса в столкновениях релятивистских ядер может дать очень ценную дополнительную информацию.

Одна из ближайших задач - исследование релятивистского $d-d$ - взаимодействия в области кулоновской интерференции представляет очень большой интерес как задача релятивистского взаимодействия двух частиц со спином, равным единице.]

Открывающаяся перспектива работы с пучками релятивистских ядер представляется мне чрезвычайно заманчивой и от имени сотрудников Лаборатории высоких энергий ОИЯИ я обращаюсь к участникам конференции с приглашением принять участие в её развитии.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.М.Балдин, Д.Д.Безногих, Л.П.Зиновьев, И.Б.Иссинский, Г.С.Казанский, А.И.Михайлов, В.И.Мороз, Н.И.Павлов, Г.П.Пучков. Препринт ОИЯИ Р9-5442 (1970).
2. Д.Д.Безногих, Л.П.Зиновьев, Г.С.Казанский, А.И.Михайлов, В.И.Мороз, Н.И.Павлов, Реферат в ПТЭ № 4, стр. 202 (1969). Препринт ОИЯИ Р9-4214 (1968).
3. S.F.Powel. Proceedings of the 11-th International Conf. on Cosmic Rays. Budapest (1969), p.3
4. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц, Sow. Phys 6, 244 (1934).
5. Д.Б.Бунин, Д.П.Горин, С.П.Денисов, С.В.Донсков, А.Ф.Дунайцев, В.А.Качанов, В.И.Котов, В.М.Кутьин, А.И.Петрухин, Ю.Д.Прокошкин, Е.А.Разуваев, Д.А.Стойнова, Д.С.Ходырев, В.С.Шувалов, Дж.Аллаби, Ф.Бамон, А.М.Везерелл, Дж.Джакомелли, А.Н.Дидденс, П.Двтеиль, Р.Менье, Ж.П.Пенье, М.Спигель, К.А.Стольбрандт, Ж.П.Строот, К.Шльпман, ЯФ 10, 585 (1969).
6. М.А.Марков, "Нейтрино", Изд. "Наука", Москва, 1964, стр.81.
7. В.Матвеев, А.Тавхелидзе. Препринт ОИЯИ Р2-4578, Дубна, 1969.
8. А.М.Балдин, Сборник "Краткие сообщения по физике" №1 (1971), Академия Наук СССР.
9. А.М.Балдин. Труды международной конференции по физике тяжелых ионов. Препринт ОИЯИ Р7-5769, Дубна (1971).
10. А.М.Балдин, Н.Гморгенеску, В.Н.Зубарев, А.Д.Кириллов, В.А.Кузнецов, И.С.Мороз, В.Б.Радоманов, В.Н.Рамкин, В.А. Свиридов, В.С.Ставинский, М.И.Яцута. Препринт ОИЯИ Р1-5819, Дубна (1971).

ДИСКУССИЯ

T. Ericson: Have you considered the following crazy possibility: in a collision between two complex systems the multiple pion production may not be simply made additively in the collision between the nucleons, but in some collective way, so that we might just possibly have a lot more pions than expected. This would be an easy experiment but may be there is already information that this is a totally impossible idea?

А.М.Балдин: Мы немного думали на эту тему и среди планируемых экспериментов с двухметровой пузырьковой пропановой камерой намечается эксперимент по множественному рождению мезонов, который может дать ответ на этот вопрос. Приведенные в моем докладе оценки одночастичных распределений, основанные на применении масштабной инвариантности к многонуклонным столкновениям, дают некоторое представление об ожидаемой величине эффекта. Другие теоретические оценки мне неизвестны.

П.Зелински: К вопросу проф. Эриксона о множественном рождении мезонов в случае столкновения ядро-ядро.

В случае когерентного взаимодействия двух ядер сечение рождения мезонов будет значительно усилено, так как когерентное усиление произойдет за счет не только A нуклонов ядрамишени, но также A нуклонов налетающего ядра.

P.Radanyi: Have you considered the possibility of other experiments involving few nuclears (few nucleon projectiles or few nuclear targets)?

А.М.Балдин: В докладе перечислены основные эксперименты, которые будут сделаны в ближайшее время.