

Международная конференция по избранным аспектам реакций с тяжелыми ионами

Конференция, организованная Отделением ядерной физики Института фундаментальных исследований КАЭ Франции, состоялась 3—7 мая 1982 г. в Сакле (Франция). В ее работе участвовали около 280 специалистов из Бельгии, Западного Берлина, Дании, Италии, США, ФРГ, Франции, Швеции, других стран, а также ОИЯИ и ЦЕРНа. Основу программы конференции составили 22 приглашенных обзорных доклада. Было представлено также около 60 оригинальных сообщений.

Конференцию открыл председатель КАЭ Франции Ж. Тейяк. Он отметил, в частности, что до настоящего времени наиболее существенный вклад в развитие физики тяжелых ионов внесли научные центры в Дубне, Беркли (США) и Дармштадте (ФРГ), и выразил надежду на то, что с вступлением в строй новых циклотронных комплексов GANIL в Кане и SARA в Гренобле институты Франции также получат адекватную базу для развития передовых национальных исследований в области физики тяжелых ионов.

Цель конференции состояла в обсуждении современного состояния и перспектив развития экспериментальных и теоретических исследований механизма взаимодействия тяжелых ионов с ядрами в широком диапазоне энергии — от нескольких МэВ/нукл. до нескольких ГэВ/нукл.

Взаимодействие двух сложных ядер при низкой энергии ($E \approx 5-10$ МэВ/нукл.). В этом разделе программы конференции, посвященном традиционной области энергии бомбардирующих ионов, подробно обсуждались экспериментальные и теоретические данные по изучению следующих процессов: полное слияние и квазислияние двух очень тяжелых ядер; «быстрое деление» сложных неравновесных промежуточных ядерных систем, образующихся при столкновении тяжелых ядер; реакции неполного слияния и эмиссия быстрых легких частиц при взаимодействии тяжелых ионов с ядрами; реакции глубоконеупругой передачи нуклонов.

Обзорные доклады сделали С. Бьернхольм (Дания), К. Грегуар, К. Жершель, Х. Флокард, Р. Шеффер (все Франция), Л. Моретто, Ф. Сименс, Дж. Хайзенга (все США).

В области низкой энергии сейчас большой интерес вызывает изучение динамики процесса полного слияния двух сложных ядер и образования равновесного компаунд-ядра, особенно в предельных условиях, когда оба партнера реакции являются достаточно тяжелыми и начинают возникать различного рода динамические ограничения на вероятность полного слияния. Интенсивно исследуют также процесс нового типа — быстрое деление ядер. По своим характеристикам этот процесс занимает промежуточное положение между реакциями полного слияния с последующим делением компаунд-ядра на два осколка примерно равной массы и реакциями глубоконеупругой передачи нуклонов.

В реакции быстрого деления равновесное составное ядро не образуется, однако система сталкивающихся ядер испытывает весьма сильную перестройку массы и формы, так что существенно масс-асимметричная система частица-мишень во входном канале реакции преобразуется в два масс-симметричных осколка в выходном канале. Массовое распределение продуктов быстрого деления, по-видимому, имеет гораздо большую дисперсию, чем массовое распределение осколков деления истинного компаунд-ядра, однако многие другие свойства продуктов обеих реакций весьма похожи. Поэтому одной из проблем является поиск подходящих критериев и методов надежного разделения в экспериментах реакций деления из равновесного и неравновесного промежуточных состояний. Другой важной за-

дачей является выяснение условий, при которых происходит быстрое деление. Решение этой задачи тесно связано с установлением причин возникновения ограничений на образование истинного компаунд-ядра. Отметим, что исследование процессов полного слияния двух сложных ядер при энергии вблизи и ниже «статического» барьера взаимодействия, а также реакций быстрого деления имеет ключевое значение для дальнейшего продвижения в проблеме синтеза новых тяжелых и сверхтяжелых элементов.

Взаимодействие тяжелых ионов с ядрами в области промежуточной энергии ($E \sim 10-100$ МэВ/нукл.). Исследования ядерных реакций в этой области энергии пока находятся в начальной стадии, поскольку до последнего времени возможности получения соответствующих пучков тяжелых ионов были весьма ограниченными. Эксперименты при промежуточной энергии проводят в основном на синхротроне ЦЕРНа, где получен пучок ионов ^{12}C энергией 86 МэВ/нукл. Пучки различных тяжелых ионов до ^{238}U с $E \leq 20$ МэВ/нукл. позволяет получать после реконструкции линейный ускоритель UNILAC в Дармштадте, пучки сравнительно «легких» тяжелых ионов (до ^{40}Ar) с $E \leq 20$ МэВ/нукл. дают также некоторые другие действующие ускорители.

Вместе с тем взаимодействию двух сложных ядер при промежуточной энергии была посвящена основная часть программы конференции. Этот особый интерес связан с тем, что в 1982—1983 гг. в строй действующих вступают новые ускорители, специально предназначенные для получения пучков различных тяжелых ионов энергией до 40—100 МэВ/нукл. — циклотронные комплексы GANIL и SARA во Франции, сверхпроводящий циклотрон в университете шт. Мичиган в США.

Ускорительный комплекс GANIL в Кане (Нормандия) — система трех совместно работающих циклотронов, включающая малый циклотрон-инжектор C0 с $K_{\text{max}} \approx 30$ МэВ и два больших последовательно соединенных идентичных изохронных циклотрона (C1 и C2) с разделенными секторами и $K_{\text{max}} \approx 450$ МэВ. Циклотрон-инжектор C0 работает с 1981 г., первый большой циклотрон C1 подготовлен к пуску, намеченному на июнь 1982 г. Сооружение циклотрона C2 завершается. Весь комплекс должен вступить в строй в ноябре 1982 г., когда предполагается получить пучок ионов ^{40}Ar энергией 50 МэВ/нукл. Завершено строительство экспериментального зала полезной площадью ≈ 2500 м², монтируют линии для транспортировки пучков. Начало физических экспериментов на GANIL запланировано на февраль — март 1983 г. GANIL даст пучки ионов ^{12}C — ^{40}Ar энергией до 100 МэВ/нукл., для ионов криптона — ксенона максимальная энергия составит ≈ 40 МэВ/нукл., для ионов ^{238}U — около 10 МэВ/нукл.

Комплекс SARA в Гренобле — тандем двух циклотронов. Первый двухметровый изохронный циклотрон с регулируемой энергией и $K_{\text{max}} \approx 90$ МэВ работает с 1968 г. Теперь он является инжектором. В 1977—1981 гг. силами Института ядерных исследований (Гренобль) и Института ядерной физики (Лион) сооружен изохронный циклотрон с четырьмя разделенными секторами и $K_{\text{max}} \approx 160$ МэВ. Возможности комплекса SARA существенно определяются параметрами источника ионов, используемого в циклотроне-инжекторе. На первом этапе SARA будет работать с классическим источником PIG и позволит получать пучки ионов до ^{20}Ne максимальной энергией ≈ 40 МэВ/нукл. и до ^{40}Ar — ≈ 15 МэВ/нукл. Источник ионов MICROAFIOS на основе электронного циклотронного резонанса разрабатывают, и он будет введен в действие в 1983 г. С ним SARA даст возможность получать пучки ионов до ^{32}S энергией ≈ 40 МэВ/нукл., пучки ионов крип-

тона (возможно и ксенона) энергией ≈ 11 МэВ/нукл. Сооружение комплекса SARA завершено. В конце апреля 1982 г. из второй ступени был выведен пучок ионов $^{12}\text{C}^{+6}$ энергией 30 и 38 МэВ/нукл. при интенсивности ≈ 100 нА, энергетическом разрешении $5 \cdot 10^{-3}$ и диаметре 4 мм. Отметим, что выбор типа ускорителей для комплексов GANIL и SARA, опыт их сооружения и пуска подтверждает развиваемые в Дубне выводы о том, что циклотронный метод является наиболее перспективным для ускорения тяжелых ионов до высокой энергии.

Что касается механизма ядерных реакций, вызванных тяжелыми ионами промежуточной энергии, то наибольшее внимание в программе конференции уделялось обсуждению следующих проблем:

упругое рассеяние и определение свойств ядро-ядерного потенциала, неупругое рассеяние, возбуждение гигантских резонансов, полные сечения реакций;

эффекты передачи линейного и углового момента, эффекты диссипации энергии;

эмиссия быстрых легких частиц (энергетический спектр, угловое распределение, множественность, корреляции);

фрагментация бомбардирующей частицы и ядра-мишени, деление; выход различных нуклидов, перспективные пути для получения новых нуклидов;

подпороговое образование π -мезонов.

Обзорные доклады сделали Р. Легрен, Ж. Мож, М. Риве, А. Флери (все Франция), К. Гельбке, Дж. Натонич (оба США), А. Гобби, У. Линен (оба ФРГ), В. фон Оертцен (Западный Берлин). В обзорном докладе директора GANIL М. Лефора была представлена программа будущих исследований на этом ускорителе. Ее главные направления в основном совпадают с перечисленными.

Характерные неупругие процессы в области промежуточной энергии до 100 МэВ/нукл. — это эмиссия (несколько быстрых легких частиц, прогрессирующая по мере повышения энергии, фрагментация бомбардирующего иона и ядра-мишени, деление. С ростом энергии увеличивается вероятность многочастичной фрагментации. Так, при ≈ 100 МэВ/нукл. с большой вероятностью ($\sim 1\%$ полного сечения) наблюдается развал системы $^{12}\text{C} + \text{естAg}$ на 5—7 фрагментов. При такой энергии в системах, подобных $^{12}\text{C} + ^{197}\text{Au}$, одним из источников «средне-тяжелых» фрагментов с $10 \leq A \leq 40$ могут быть эффекты типа прямой передачи момента некоторой субструктуре в ядре. Образование π -мезонов при облучении мишеней от ^{12}C до ^{197}Au быстрыми ионами ^{12}C наблюдали

при 86 МэВ/нукл. и с меньшим в 20 раз сечением даже при 60 МэВ/нукл., несмотря на то, что в нуклон-нуклонных столкновениях порог рождения π -мезонов 290 МэВ. Вполне вероятно поэтому, что в подпороговой области имеют место эффекты коллективной природы, когда в образовании π -мезона одновременно участвуют много нуклонов. Эффекты такого типа должны наиболее ярко проявляться при самой низкой энергии, в связи с чем планируют опыты по наблюдению π -мезонов при энергии ионов $^{12}\text{C} \sim 30$ МэВ/нукл.

В целом первые результаты подтверждают актуальность и перспективность проведения более широких исследований с тяжелыми ионами промежуточной энергии. Учитывая ценные качества таких пучков для фундаментальных и прикладных исследований в смежных областях науки и в особенности для решения важных практических задач, можно полагать, что область энергии от нескольких десятков до нескольких сотен МэВ/нукл. будет центральной для физики тяжелых ионов в предстоящие 5—10 лет.

Взаимодействие релятивистских тяжелых ионов с ядрами. По этому направлению программы рассматривались следующие вопросы:

экспериментальные результаты, полученные в совместных работах специалистами Беркли — Дармштадта по исследованию взаимодействия тяжелых ионов с ядрами при ~ 200 —2000 МэВ/нукл. с помощью мультidetекторной системы «plastic ball + plastic wall» на ускорителе BEVALAC в Беркли;

проблемы теоретического описания релятивистских ядро-ядерных столкновений на основе моделей внутриядерных каскадов, релятивистской ядерной гидродинамики и хаотической фрагментации.

Обзорные доклады сделали: по состоянию эксперимента — Х. Гутброд (США), по теории — Дж. Куно (Бельгия), В. Грайнер (ФРГ), Я. Бондорф (Дания). Главной проблемой в области релятивистской энергии остается изучение эффектов ядерной компрессии, попытка получить информацию об уравнении состояния ядерного вещества.

Заключительный доклад на конференции сделал Х. Фешбах (США).

К открытию конференции был издан сборник оригинальных сообщений. Приглашенные обзорные доклады будут опубликованы в специальном выпуске журнала «Nuclear Physics A»

ЛАЗАРОВ Ю. А.

Э Н Е Р Г О И З Д А Т

Худ. ред. А. Т. Кирьянов

Корректор М. Г. Гулина

Техн. ред. О. Н. Адашкина

Сдано в набор 06.09.82. Подписано в печать 25.10.82. Т-19754. Формат 84×108¹/₁₆. Печать высокая. Усл. печ. л. 6,72. Усл. кр.-отт. 7,35. Уч.-изд. л. 9,13. Тираж 2417 экз. Зак. 0394.

Ордена Трудового Красного Знамени Московская типография № 7 «Искра революции»
Союзполиграфпрома Государственного Комитета СССР по делам издательства,
полиграфии и книжной торговли. Москва 103004, Трехпрудный пер., 9.