

## Европейская конференция по ядерной физике

### на тяжелых ионах

С 6 по 10 сентября в Кане (Франция) проходила международная конференция по ядерной физике на тяжелых ионах. Хотя конференция официально названа Европейской (ее организатором было Европейское физическое общество), в ней участвовали ученые всех континентов, активно работающие в этой области физики.

В центре внимания стояли вопросы взаимодействия двух сложных ядер при нерелятивистской и релятивистской энергии. Наибольшее число докладов (три обзора и 13 кратких сообщений) было посвящено новому типу реакций между сложными ядрами — глубоконеупругим передачам (ГНП), открытым несколько лет назад в Дубне в ЛЯР. Как и в прямых процессах, в ГНП сохраняется сильная связь между входным и выходным каналами реакций. Продукты ГНП «не забывают» ни направления движения исходных ядер, ни их атомных номеров и массовых чисел. Угловые распределения ГНП резко асимметричны: легкие продукты вылетают преимущественно под малым углом к пучку. Зарядовые и массовые распределения имеют максимумы близки  $A$  и  $Z$  исходных ядер. Вместе с тем их кинетическая энергия близка к высоте выходного кулоновского барьера и не зависит от энергии бомбардирующих ионов подобно тому, как это наблюдается в реакциях деления. В сечениях образования продуктов ГНП установлены закономерности, которые свидетельствуют о реализации частичного статистического равновесия в системе из двух взаимодействующих ядер в отношении обмена тепловой энергией и возбужденными нуклонами. Образно говоря, ГНП — «физический кентавр» среди известных механизмов реакций с тяжелыми ионами. Своеобразие этих реакций связано с формированием в глубоконеупругих столкновениях двойной ядерной системы (ДЯС). Другие ее названия — композиционная система, промежуточный ядерный комплекс. В ДЯС поверхности ядер сильно перекрываются, а их относительная скорость мала. Ядра системы интенсивно обмениваются энергией и нуклонами и вместе с тем в широких пределах сохраняют свою индивидуальность за счет прочно связанных нуклонов внутренних оболочек. Обладая значительным угловым моментом, ДЯС поворачивается как единое целое, подобно гантели. Время жизни такой системы в реакциях глубоконеупругих передач меньше времени одного оборота системы, однако оно в десятки раз превосходит характерное ядерное время ( $\sim 1 \cdot 10^{-22}$  с). В результате в ДЯС успевает установиться частичное статистическое равновесие в отношении обмена энергией и возбужденными нуклонами. В ГНП значительная часть орбитального углового момента в процессе диссипации кинетической энергии переходит в спины ядер системы. В результате в качестве фрагментов ГНП образуются быстро вращающиеся ядра с угловыми моментами, достигающими десятков единиц  $\hbar$ . Эксперименты, в которых наблюдалось  $\gamma$ -излучение продуктов ГНП (множественность  $\gamma$ -квантов), подтвердили вывод о полной диссипации тангенциальной части кинетической энергии в глубоконеупругих столкновениях ядер.

ГНП дали толчок к разработке нового для ядерной физики подхода к описанию взаимодействия двух сложных ядер. Характерная особенность ДЯС состоит в том, что они эволюционируют во времени, непрерывно переходя из одного состояния в другое в направлении конфи-

гурации, соответствующей минимуму потенциальной энергии системы. В этом принципиальное отличие ДЯС от ядерных молекул, для которых характерна квазистационарность состояний. Теоретические модели, используемые для описания прямых реакций и реакций распада возбужденного компаунд-ядра, не в состоянии описать эволюцию ДЯС, так как для них не характерна зависимость состояния системы от времени. В докладах на конференции были рассмотрены теоретические подходы, опирающиеся на математический аппарат неравновесной статистики: мастер-уравнение, уравнение Фоккера — Планка. В рамках этого подхода обмен нуклонами и энергией между ядрами ДЯС рассматривается как процесс переноса и диффузии.

Эксперименты с ионами криптона, ксенона и урана показали, что для наиболее тяжелых ионов ГНП являются доминирующим ядерным процессом, дающим основной вклад в сечение реакций. При столкновении ядер урана их слияние с образованием компаунд-ядра, по-видимому, вообще невозможно. Кулоновское отталкивание настолько возрастает, что ядерные силы уже не в состоянии удержать два ядра в контакте. Им удается обменяться лишь некоторым числом нуклонов.

К сожалению, информация о взаимодействии ядер при релятивистской энергии еще очень бедна, противоречива и пока не позволяет сделать определенных выводов о возникновении ударных волн при столкновении двух быстрых ядер. Теоретическое рассмотрение таких столкновений в рамках статистического микроскопического подхода не подтвердило образования фронта ударной волны в отличие от выводов группы В. Грайнера (ФРГ). Новые данные о взаимодействии ионов неона энергией 250, 400 и 2100 МэВ/нукл. с ядрами урана с регистрацией протонов, дейтронов, тритонов,  $\alpha$ -частиц и ядер  ${}^3\text{He}$ , полученные в Беркли (США), были интерпретированы без привнесения гипотезы об образовании ударной волны.

Реакции с тяжелыми ионами создают уникальные возможности получения быстровращающихся ядер со спинами, измеряемыми десятками единиц  $\hbar$ . В докладе З. Шиманского (ПНР) было показано, что учет оболочечной структуры ядер приводит к тому, что их деформация в зависимости от углового момента изменяется отнюдь не монотонно, как это следует из рассмотрения изменения формы в рамках жидкокапельной модели.

Особый интерес представляет возможность существования изомерных состояний с большим угловым моментом. Такое изомерное состояние найдено у  ${}^{152}\text{Dy}$  при энергии возбуждения  $\sim 5$  МэВ.

Программой конференции в Кане не предусматривалось обсуждение проблем поиска сверхтяжелых элементов (СТЭ) в природе и синтеза их в реакциях с тяжелыми ионами; эти вопросы рассматривались в мае 1976 г. на III конференции о свойствах ядер, удаленных от линии  $\beta$ -стабильности. Однако к началу конференции в Кане был выполнен ряд новых исследований в данной области, и оргкомитет принял решение провести специальное заседание, посвященное СТЭ.

Напомним, что в июльском номере журнала «Physics Review Letters» за 1976 г. появилась статья американских ученых (Р. Джентри и др.), сообщавших о наблюдении вынужденного рентгеновского излучения ядер сверхтяжелых элементов. Авторы подвергли облуче-

нию тонким пучком протонов кристаллики минерала монацита, находившегося в центре гигантских «галло», обнаруженных в слюде, полученной с о. Мадагаскар. Гигантские «галло» могли быть порождены  $\alpha$ -распадом СТЭ, и, если эти элементы живут достаточно долго, некоторое число их атомов могло сохраниться до наших дней. Авторы наблюдали слабые пики флюоресцентного  $x$ -излучения в интервале между  $Lx$ -излучением тория и урана и  $Kx$ -излучением редких земель — продуктов спонтанного деления урана. Был сделан вывод, что это флюоресцентное  $Lx$ -излучение еще не распавшихся ядер сверхтяжелых элементов. Исходя из их энергии были получены атомные номера СТЭ — 126 и СТЭ — 124. По интенсивности пиков сделана оценка числа атомов СТЭ в образцах: получилась довольно внушительная величина — сотни пикограммов. Отметим для сравнения, что в ЛЯР ОИЯИ при поисках природных сверхтяжелых элементов, ведущих уже в течение 9 лет, достигнута чувствительность в тысячную долю пикограмма на грамм породы исследуемых образцов. При такой чувствительности в результате кропотливой работы пока удалось наметить лишь перспективные направления поисков, которые могут привести к обнаружению сверхтяжелых элементов в природе.

Работа американских ученых была разрекламирована американской прессой. Однако, как показали проверочные эксперименты, проведенные в ряде лабораторий и доложенные на конференции в Кане, работа Р. Джентри и др. оказалась ошибочной.

В Дармштадте (ФРГ) Д. Швалм и др. показали, что при облучении монацита протонами более низкой энергии никаких дополнительных пиков в интервале между  $Lx$ -излучением урана и тория и  $Kx$ -излучением редких земель не появляется. Если же увеличить энергию протонов, то пик, соответствующий  $Lx$ -излучению 126 элемента, действительно возникает, однако он связан с ядерным излучением из реакции  $^{140}\text{Ce}(p, n)^{140}\text{Pr}$ . Отрицательный результат был получен и в Орсе (Франция) при попытке выделить СТЭ из мадагаскарского монацита с помощью масс-сепаратора. Было показано,

что содержание СТЭ в монаците по отношению к урану меньше  $10^{-12}$ . В Дармштадте подвергли химической переработке около 20 г монацита с выделением различных химических фракций и последующим рентгенофлюоресцентным анализом. Обнаружить следы СТЭ не удалось. В Оксфорде (Англия) при поисках СТЭ в монаците пытались использовать рассеяние назад ионов под энергией 50 МэВ. Рассеянные под углом  $170^\circ$  на ядрах тория и урана ионы иода обладают энергией  $\sim 4$  МэВ, рассеянные на ядрах СТЭ —  $\sim 10$  МэВ. Следы СТЭ в монаците опять-таки не обнаружены.

На конференция Г. Сибгоргом (США) были доложены предварительные данные о синтезе СТЭ в реакциях с ионами  $^{48}\text{Ca}$ . Следует отметить, что первые эксперименты по синтезу сверхтяжелых ядер на пучке ионов  $^{48}\text{Ca}$  были проведены в ЛЯР ОИЯИ. В этих опытах исследовались многочисленные комбинации: ионами  $^{48}\text{Ca}$  облучались мишени из  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{231}\text{Pa}$ ,  $^{233}\text{U}$  и  $^{246-248}\text{Cm}$ . В американских экспериментах использовалась мишень из  $^{248}\text{Cm}$ . Облучение велось ионами  $^{48}\text{Ca}$  энергией 267 МэВ при интенсивности выведенного пучка около одного микроампера. Ожидалось, что при этой энергии главный вклад в сечение образования СТЭ дает реакция  $^{248}\text{Cm}(^{48}\text{Ca}, 3n)^{293}\text{116}$ . Продукты реакций подвергались химической переработке с выделением различных фракций, в том числе фракции благородных газов. Химическая переработка занимала около часа, после чего пытались зарегистрировать спонтанное деление,  $\alpha$ - или  $\beta$ -распад СТЭ. Обнаружить СТЭ не удалось на уровне сечения  $2 \cdot 10^{-34}$  см $^2$ . Поскольку сверхтяжелый элемент может оказаться короткоживущим, в последующих экспериментах предполагается повысить быстродействие методики.

Конференция в Кане еще раз показала, что физика тяжелых ионов (нерелятивистских и релятивистских) является одним из наиболее динамично развивающихся направлений физики ядра, открывающим все новые возможности в получении фундаментальных знаний.

ВОЛКОВ В. В.

## XXV Сессия Научного комитета ООН по действию атомной радиации

В работе сессии, состоявшейся 6—16 сентября 1976 г. в Вене (Австрия), участвовали делегаты от 20 стран, входящих в эту организацию, а также представители ряда международных организаций (МАГАТЭ, МКРЗ, ФАО, Программа ООН по исследованию окружающей среды и др.). Данная сессия была наиболее представительной в период 1969—1976 гг., в течение которого готовился очередной доклад Генеральной Ассамблеи ООН.

На заседании физической подгруппы (председатель А. Жамме, Франция) обсуждались концепции и основные понятия, используемые для оценки радиационного воздействия на человека. В настоящее время основополагающей точкой зрения при определении последствий облучения человека является признание линейной зависимости доза — эффект (т. е. осуществление принципа беспороговости при действии ионизирующих излучений) с экстраполяцией соответствующих данных к нулевому значению дозы облучения. Вместе с тем на сегодняшний день совершенно очевидны недостатки указанного прин-

ципа. Убедительного экспериментального обоснования оценки эффектов действия ионизирующих излучений в малых дозах (до 5—10 рад) к настоящему времени не получено. Экстраполяция риска облучения, рассчитанного по экспериментальным данным для больших доз и их мощностей, на дозы, близкие к фоновым или превышающие их незначительно, носят сугубо формальный характер. Единственный аргумент в пользу такой экстраполяции состоит в том, что исключается возможность недооценки опасности облучения. Однако, естественно, возможна и переоценка такого рода риска. При значительном расширении ядерной энергетики такая переоценка нежелательна, так как затрудняет объективный анализ воздействия АЭС на природную среду и человека.

Уточнены ежегодные средние дозы облучения человека от естественного фона радиации, которые для год, легких, клеток, выстигающих костный мозг, и костного мозга равны соответственно 81, 130, 88 и 95 Град. Основными источниками естественного радиа-