

# Конференция по ядерным реакциям, вызываемым тяжелыми ионами

V Международная конференция по ядерным реакциям под действием тяжелых ионов состоялась в Гейдельберге в июле 1969 г. В конференции приняли участие около 300 человек. Ее программа включала следующие основные разделы: 1) теоретическая интерпретация взаимодействия тяжелых ионов с ядрами, включая проблему ядерных квазимолекул; 2) механизм реакций передачи нуклонов и нуклонных групп; 3) передача  $\alpha$ -частиц в ядерных реакциях с ионами лития и вопросы  $\alpha$ -ассоциирования в легких ядрах; 4) кулоновское возбуждение, измерение магнитных и статических квадрупольных моментов возбужденных состояний ядер; 5) синтез трансменделеевых элементов. Возможности существования и синтеза элементов в новой области стабильности. Поиск сверхтяжелых элементов в природе; 6) проекты новых ускорителей тяжелых ионов.

Уже из этого перечня видно, насколько обширной была конференция. В самое ближайшее время читатель сможет лично ознакомиться с трудами конференции. Поэтому остановлюсь только на самых интересных и важных, на мой взгляд, научно-технических новостях.

Значительное место в программе конференции занимали реакции передачи и среди них прежде всего реакции передачи  $\alpha$ -частицы. Интерес к этим реакциям вызван тем, что, изучая, например, реакции подхвата  $\alpha$ -частиц, можно получить информацию об  $\alpha$ -ассоциировании нуклонов в основном состоянии ядра.

Особенно удобными для этой цели оказались ускоренные ионы лития. Реакции ( ${}^6\text{Li}, d$ ) и ( ${}^7\text{Li}, t$ ) напоминают реакции срыва с дейтронами, с той лишь разницей, что ядру лицица передается не отдельный нуклон, а  $\alpha$ -частица. Эксперименты с ионами лития проводятся в СССР, США, ФРГ и Франции. Большой экспериментальный материал по этому разделу был представлен на конференции в докладе А. А. Оглоблина (ИАЭ им. И. В. Курчатова, Москва). С обстоятельным докладом по теории  $\alpha$ -ассоциирования в легких ядрах выступил В. Г. Неудачин (МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва). В Гейдельберге изучались обратные реакции ( $d, {}^6\text{Li}$ ) и ( ${}^3\text{He}, {}^7\text{Be}$ ) с целью получения данных о приведенных  $\alpha$ -ширинах основных состояний легких ядер.

Сопоставление результатов, полученных в отдельных лабораториях, показывает, что при передаче  $\alpha$ -частицы происходит возбуждение вращательных полос ( $0^+, 2^+, 4^+, 6^+$ ). Эти данные раскрывают структуру уровней, помогают понять природу  $\alpha$ -ассоциирования и деформации возбужденных состояний легких ядер. В докладе А. Бромли (Йельский университет, США)

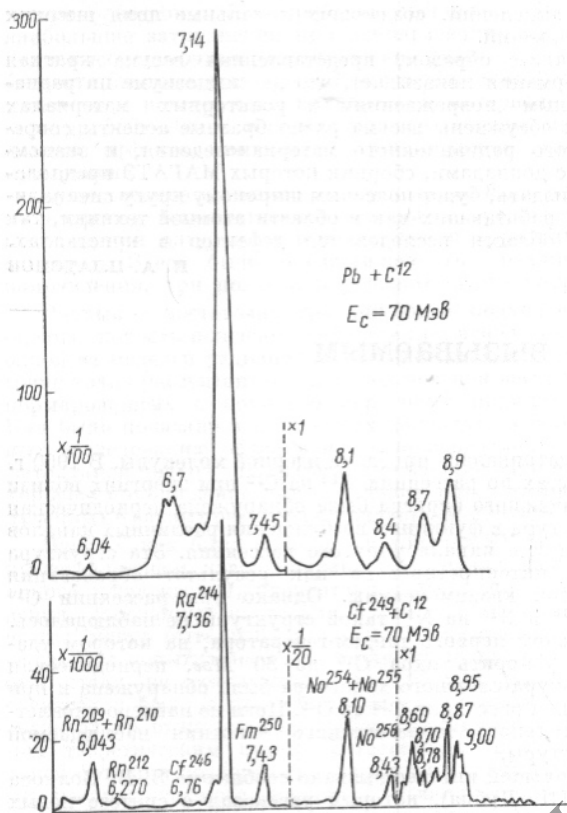
рассматривалась проблема ядерной молекулы. В 1960 г. в опытах по рассеянию  $\text{C}^{12}$  на  $\text{C}^{12}$  при энергиях вблизи кулоновского барьера была обнаружена периодическая структура в функциях возбуждения различных каналов реакций и канала упругого рассеяния. Эта структура была интерпретирована как результат образования ядерной квазимолекулы. Однако при рассеянии  $\text{O}^{16}$  на  $\text{O}^{16}$  и  $\text{N}^{14}$  на  $\text{N}^{14}$  такой структуры не наблюдалось. С пуском первого тандем-генератора, на котором удалось ускорить ядра  $\text{O}^{16}$  до 80 Мэв, периодическая структура сложного характера была обнаружена и при упругом рассеянии  $\text{O}^{16}$  на  $\text{O}^{16}$ . Пока не найдено удовлетворительного теоретического описания наблюдаемой структуры.

Большой интерес вызвало сообщение В. В. Волкова (ОИЯИ, Дубна), который рассказал о синтезе новых изотопов легких элементов с аномально большим избытком нейтронов  $\text{O}^{22}$ ,  $\text{N}^{20}$ ,  $\text{C}^{18}$ , а также привел данные о новом механизме взаимодействия тяжелых ионов с ядрами, промежуточным между компаунд-ядром и квазиупругими прямыми процессами.

Из новых сообщений хочется еще отметить доклад, представленный из Копенгагена, о расчетах эффективных сечений деления урана кулоновским полем тяжелых ионов от кислорода до ксенона.

Большое место на конференции было отведено обсуждению проектов новых ускорителей тяжелых ионов. В обзорном докладе Р. С. Ливингстона (Ок-Ридж, США) были рассмотрены основные проблемы ускорения тяжелых ионов (выбор схем ускорения, получение ионов высокой зарядности, сравнительная экономичность различных схем и т. д.) и дана краткая характеристика существующих ускорителей и перспектив их дальнейшего развития. Из приведенных данных можно было сделать вывод, что лучшими машинами по интенсивности и ассортименту ускоряемых частиц являются два циклотрона Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ (310-см и 200-см). В докладе отмечалась перспективность коллективного метода ускорения тяжелых ионов, разрабатываемого в ОИЯИ В. П. Саращевым и др., а также перспективность нового типа ионных источников, разработанного в Дубне группой Е. Д. Донца; с помощью этого источника удалось получить девятнадцатизарядные ионы золота.

Далее обсуждались многочисленные проекты ускорителей тяжелых ионов, разрабатываемые в США, Франции и ФРГ (суперхайлак в Беркли, сдвоенный тандем в Кембридже, ускорители в Аргонне и Ок-Ридже, в которых в качестве инжектора используется



Спектр  $\alpha$ -частиц от распада продуктов реакций, возникающих при бомбардировке ионами углерода свинца (верхняя часть рисунка; Дубна) и калифорния-249 (нижняя часть; Беркли).

тандем-генератор, а второй ступеню служат 4- и 6-секторные циклотроны, французский проект ALICE в Орсе, представляющий собою комбинацию линейного ускорителя и двухметрового циклотрона, большие линейные ускорители в Дармштадте, Франкфурте и Лионе). Обсуждение показало, что в ближайшие 3—5 лет в США и Западной Европе появится новое поколение ускорителей, которые дадут возможность получить интенсивные пучки всех элементов вплоть до урана с энергией, преобладающей кулоновский барьер на самых тяжелых мишенях. В частности, Лефор (Орсе, Франция) сообщил, что уже в начале 1970 г. можно надеяться на получение пучка ионов криптона и начать эксперименты по синтезу сверхтяжелых элементов. В 1971 г. будет запущен суперхайлак в Беркли (США).

На конференции обсуждалась современная ситуация в области синтеза трансменделеевых элементов (102, 103, 104). С докладами по этой проблеме выступили В. А. Друин (ОИЯИ, Дубна) и М. Нурмия (Беркли, США). В докладе Нурмии сообщалось о синтезе изотопа  $^{258}102$  (спонтанное деление, период полураспада 1,2 мсек) и двух  $\alpha$ -радиоактивных изотопов элемента 104 с массовыми числами 257 и 259. Эти результаты были недавно опубликованы (Phys. Rev. Letters, 22, 1969). Никаких новых экспериментальных доказа-

тельств по элементу 103 не было приведено. Ситуация с элементами 102 и 103 читателю, вероятно, известна из обзоров, опубликованных в журнале «Атомная энергия», т. 24 и 25 (1968).

Успех экспериментов в Дубне по синтезу шести изотопов элемента 102 и двух изотопов элемента 103 в значительной мере обусловлен тщательной очисткой вещества мишени от микропримесей свинца. Опасность загрязнения материала мишени свинцом была продемонстрирована в докладе В. А. Друина на примере облучения свинца пучками углерода с энергией 70 Мэв. Альфа-спектры, полученные в этих опытах, показаны на рисунке. Если сопоставить их с  $\alpha$ -спектрами, измеренными в Беркли при облучении  $^{249}\text{Cf}$  ионами  $^{12}\text{C}$  (см. рисунок), то легко заметить, что из-за присутствия свинца в калифорнийской мишени возникает целый ряд изотопов в области Ra — Po, которые сильно затрудняют идентификацию трансурановых элементов. Так, в работе по синтезу  $^{257}104$  и  $^{259}104$  в Беркли при регистрации первичных спектров  $\alpha$ -частиц допущена ошибочная идентификация нескольких изотопов ( $^{249}\text{Cf}$ ,  $^{250}\text{Fm}$  и, возможно,  $^{256}102$ ). Кроме того, по неизвестным причинам неправильно определен период полураспада (5 сек) известного излучателя  $^{211}\text{mPo}$  ( $E_\alpha = 8,87$  Мэв,  $T_{1/2} = 25$  сек). В связи с этим вызывает сомнение факт правильного определения периода полураспада, равного 5 сек, для соседнего излучателя с  $E_\alpha = 8,6$  Мэв на том же спектре, условно приписанного изотопу  $^{258}103$ .

Что же касается экспериментов по регистрации генетической связи материнского изотопа  $^{257}104$  и дочернего  $^{263}102$ , то, как указывают сами авторы работы, здесь имеется «неизвестный механизм передачи» атомов 102-го элемента, непосредственно возникающих в ядерных реакциях типа ( $\text{C}^{12}, \alpha, xn$ ), который приводит к искажению распределения элемента 102 в соответствии с периодом полураспада элемента 104, т. е. фактически к ошибке в определении периода полураспада материнских изотопов элемента 104.

Заключение, сделанное в Беркли, о неподтверждении принадлежности спонтанно делящегося изотопа с периодом полураспада 0,3 сек, открытого в Дубне, 104-му элементу не имеет достаточных оснований, поскольку опыт проведен некорректно. Поиск осуществлялся в ядерной реакции  $^{253}\text{Es} (1\text{В}, 4n) ^{260}104$ . Ожидалось из расчетов, что сечение этой реакции равно  $17 \times 10^{-33}$  см<sup>2</sup>. Из-за фона от спонтанного деления  $^{256}\text{Fm}$  и  $^{256}102$  получена лишь граница сечения  $8 \cdot 10^{-33}$  см<sup>2</sup>. Таким образом, граница сечения всего лишь в два раза отличается от расчетного сечения.

В экспериментах в Дубне благодаря применению быстрого метода газовой химии для очистки от спонтанно делящихся изомеров и изотопов более легких элементов удалось существенно повысить чувствительность. Сечение образования этой активности в реакции  $^{242}\text{Pu} ({}^{22}\text{Ne}, xn) ^{264-x}104$  составляло  $2 \cdot 10^{-34}$  см<sup>2</sup>, что, кстати сказать, в 8—10 раз меньше расчетного значения. Возможно, что отклонение экспериментального сечения от расчетного обусловлено лишь частичным вкладом спонтанного деления (10—15%). Вопрос о массовом числе синтезированного в Дубне изотопа элемента 104 более сложен, поскольку при использованных энергиях ионов  $^{22}\text{Ne}$  практически равновероятно образование изотопов с массой 259—261 за счет ядерных реакций с испарением 3, 4, 5 нейтронов. Однако для химического доказательства принадлежности нового элемента IV группе периодической системы знание массового числа не имеет значения, поскольку химические методы идентификации Z элемента нечувствительны к A.

Вполне понятное внимание привлек доклад И. Звара (ОИЯИ, Дубна), который сообщил о новых результатах поиска сверхтяжелых элементов в природе, полученных в работах Г. Н. Флёрера и сотрудников. В этих

опытах получено указание на возможность существования в свинце и свинцовых минералах, а также в конкрециях, поднятых со дна океана, долгоживущих изотопов таких элементов.

В. Д.