

7204

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



Экз. чит. зал

7 - 7204

Г.Н.Флеров, Ю.Ц.Оганесян, И.И.Звара, А.Г.Демин,
Г.М.Тер-Акопян, Ю.Э.Пенионжкевич

ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЯЖЕЛЫХ
И СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЯДЕР

1973

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

7 - 7204

Г.Н.Флеров, Ю.Ц.Оганесян, И.И.Звара, А.Г.Демин,
Г.М.Тер-Акопян, Ю.Э.Пенионжкевич

ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЯЖЕЛЫХ
И СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЯДЕР

Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ

1. ВВЕДЕНИЕ

Становление и развитие физики тяжелых ионов как самостоятельной и плодотворной области ядерной физики происходило на базе ускорителей, позволявших получать пучки тяжелых ионов вплоть до ^{40}Ar с интенсивностью до 10^{12} 1/сек. /У-300 в ОИЯИ, *HILAC* в Беркли, США/. Доступный диапазон тяжелых ионов, от ^{12}C до ^{40}Ar , оставался неизменным на протяжении 60-х годов, хотя увеличение массы ускоренных ионов становилось все более насущной необходимостью для дальнейшего развития исследований.

Энергичные усилия, предпринятые в наиболее развитых странах в начале 70-х годов - перестройка линейного ускорителя *HILAC* в Беркли в *Super HILAC*, ускорение ионов *Kr* на установке *Alice* во Франции, строительство ускорителя тяжелых ионов *UNILAC* в ФРГ и запуск тандем-циклотрона ОИЯИ, - отражают стремление физиков всех стран к созданию универсального ускорителя тяжелых ионов, дающего возможность ускорять ионы практически всех стабильных элементов периодической системы вплоть до U с возможно более высокой интенсивностью и энергией.

Получение ускоренных ионов различных элементов вплоть до U с достаточно высокой интенсивностью /до 10^{14} 1/сек/ и энергией /до 10 Мэв/нуклон/ явится качественно новым этапом в развитии не только физики тяжелых ионов, но и ядерной физики в целом. В природе существует только 300 стабильных ядерных систем - изотопов 90 стабильных элементов периодической системы. С начала развития ядерной физики идентифицировано и изучено всего около 1600 ядер. Оценки показывают, что облучая уран ионами урана с энергией 1 Гэв, можно получить по меньшей мере 6000 различных ядер. Если

до сих пор доступные для изучения ядерные системы были ограничены по атомным номерам величиной, близкой к 100, то, имея ускоренные ионы урана, можно расширить диапазон исследований вплоть до $Z \approx 200$.

Взаимодействие тяжелых ядер требует для своего описания развития качественно новых представлений о реакциях между ядерными макросистемами. В отличие от ядерных реакций с легкими частицами, теория которых развивалась на основе представления о бомбардирующей частице, как безразмерной точке, взаимодействие тяжелых ядер представляет собой процесс, имеющий с точки зрения теории много общего с делением. Таким образом, изучение ядерных реакций между тяжелыми ядрами должно расширить наши представления и о таком классическом ядерном явлении, как деление.

Поведение ядерной материи в экстремальных условиях критических угловых моментов, разрывающих ядро, и высоких энергий возбуждения представляет чрезвычайно интересный объект для исследований. Так, при нецентральных столкновениях тяжелых ядер возникают огромные центробежные силы, достаточные для резкого изменения привычной сферической формы ядерной системы и создания конфигурации, близкой к гантели. Весьма интересным является вопрос об устойчивости /времени жизни/ такой системы, образованной, например, в столкновении двух ядер урана.

Сейчас невозможно предвидеть все факторы, которые могут проявиться при изучении столь широкой и качественно новой области явлений, как взаимодействие тяжелых ядер и атомов. Мы слишком мало знаем о том, что может произойти в результате таких необычных процессов, и это тем более является стимулирующим обстоятельством для их исследования. Представляется очевидным, что эти исследования будут полезны и для других областей естествознания, таких, как химия, атомная физика, астрофизика и квантовая электродинамика.

II. СИНТЕЗ ТРАНСФЕРМИЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ / $100 < Z \leq 106$ /

Синтез новых трансурановых элементов вплоть до 100-го осуществлялся в основном путем облучения

урана или плутония мощными потоками нейтронов в ядерных реакторах и ядерных взрывах, однако в 60-х годах после ряда безуспешных попыток стало очевидно, что этим методом невозможно продвинуться к элементам с $Z > 100$. Наиболее тяжелым изотопом, полученным как в реакторах, так и в ядерных взрывах, остается ^{257}Fm .

Вместе с тем 60-е годы явились периодом, когда полностью проявились и подтвердились уникальные возможности исследования ядер в реакциях с тяжелыми ионами. В этой новой и чрезвычайно плодотворной области - физике тяжелых ионов - почетное место занимает проблема синтеза новых трансурановых, а точнее, трансфермиевых элементов периодической системы.

Начиная с первых попыток синтеза 102-го элемента, предпринятых в конце 50-х годов, и до настоящего времени единственным методом синтеза трансфермиевых элементов остаются реакции слияния ядер мишени и тяжелых ионов с последующим испарением нейтронов из составного ядра, т.е. реакции типа (HI, xn) . В этих процессах весь заряд тяжелого иона добавляется к заряду ядра мишени, позволяя скачком продвинуться до интересующего элемента. Реакция (HI, xn) протекает через стадию образования составного ядра, обладающего определенной энергией возбуждения, которая снимается главным образом путем испарения нейтронов. Четкие энергетические и угловые характеристики таких процессов /максимум функции возбуждения конкретной реакции при определенной энергии ионов и резкая направленность вперед вылета продуктов/ дают ценные дополнительные возможности для идентификации образующихся ядер. Эти возможности были ярко продемонстрированы в дубненских экспериментах по синтезу 102-го, 103-го, 104-го и 105-го элементов.

Однако с ростом делимости ядер по мере продвижения к большим значениям Z эффективные сечения реакций, приводящих к образованию новых элементов, быстро уменьшаются. Так, сечение образования ядер 105-го элемента в реакции $^{243}\text{Am} + ^{22}\text{Ne}$ составляет всего $\approx 10^{-33} \text{ см}^2$, что примерно в 10^8 раз меньше сечения аналогичных реакций в области неделищихся ядер. Еще

более низким ожидается сечение образования ядер 106-го элемента $\approx 10^{-34}$ см².

Наблюдаемое падение сечений этих реакций при увеличении Z продукта может быть объяснено возрастающей конкуренцией деления с испарением нейтронов при снятии возбуждения составного ядра, а именно, уменьшением отношения нейтронной и делительной ширины (Γ_n/Γ_f). Однако это, по-видимому, не единственная причина. Другим фактором, возможно, являются ограничения, накладываемые на вероятность образования составного ядра. Некоторые расчеты с использованием модели вращающейся заряженной жидкой капли показывают, что сечение образования составного ядра уменьшается при увеличении Z составного ядра и массы бомбардирующей частицы.

Несмотря на указанные трудности, реакции (HI, xn) явились эффективным способом синтеза новых элементов вплоть до нильсбория $Z = 105$. К настоящему времени в реакциях этого типа с ионами B, C, N, O и Ne синтезировано более двадцати изотопов элементов 102-105 и ведутся их исследования вплоть до установления детальных схем распада и изучения такого специфического вида распада, как спонтанное деление. В Дубне, в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ, а также в США проводятся опыты по синтезу 106-го элемента, которые, возможно, в ближайшем будущем приведут к его открытию.

Развитие исследований трансфермиевых ядер $(100 < Z < 106)$ все более зависит от увеличения интенсивности и массы ускоренных тяжелых ионов. Оценки, проведенные на основании большой совокупности экспериментальных данных, показывают, что увеличение интенсивности пучка ионов в 100 раз по сравнению с имеющейся сейчас на ускорителе У-300 позволит синтезировать и исследовать ряд новых нейтронодефицитных изотопов в трансфермиевой области, таких, как $^{249-251}Md$, $^{250}102$, $^{252-254}103$, $^{255,256,262}Ku$ и $^{259}105$. Синтез и изучение этих изотопов позволили бы в значительной степени развить и проверить важнейшие представления о зависимости делимости от оболочечных эффектов, а также от Z и A в этой области ядер, являющейся переходной к сверхтяжелым. Задача синтеза нового элемента 106 была бы

также значительно облегчена при наличии более интенсивного пучка ионов.

Выше говорилось о тех трудностях, которые связаны с уменьшением сечений образования трансфермиевых ядер в реакциях типа (HI, xn) при увеличении Z продукта. При использовании очень тяжелых ионов, таких, как Xe и U , появляются возможности синтеза трансфермиевых ядер иными способами, а именно, в реакциях деления и многонуклонных передач при облучении мишеней с большим порядковым номером.

Используемые в настоящее время методы синтеза новых изотопов не являются достаточно эффективными для получения изотопов тяжелых элементов с большим избытком нейтронов. В результате этого для большинства тяжелых элементов изучены изотопы, отстоящие от линии β -стабильности только на три-четыре массовых единицы в сторону нейтронного избытка, в то время как нейтронодефицитные ядра исследованы иногда почти вплоть до границы протонной нестабильности ядер (что соответствует недостатку 20-30 нейтронов/).

На основании расчетных оценок и экспериментальных данных, полученных при облучении ^{238}U ионами ^{136}Xe , можно предсказать, что с увеличением интенсивности пучка ионов Xe до 10^{14} 1/сек можно будет синтезировать целый ряд тяжелых изотопов актинидных элементов вплоть до ^{250}U , ^{254}Cm , ^{258}Cf и т.д.

Изучение свойств нейтронообогащенных ядер тяжелых элементов имеет важнейшее значение не только для физики ядра, но и для понимания механизма образования тяжелых и сверхтяжелых элементов в активных звездных процессах, а также расчета динамики быстрого захвата нейтронов в ядерных взрывах.

Если перейти к самым тяжелым из известных элементов 102-105, то избыток нейтронов приобретает еще более принципиальное значение. Поскольку все эти элементы до настоящего времени синтезировались в реакциях типа (HI, xn) , то получаемые изотопы всегда были сильно нейтронодефицитными. Можно ожидать, что изотопы, лежащие ближе к линии β -стабильности, будут более устойчивы, чем известные. Поэтому возможность получения таких изотопов, как $^{261}102$, $^{265,267}104$, при

взаимодействии сверхтяжелых ионов с ядрами представляется весьма заманчивой.

III. СВЕРХТЯЖЕЛЫЕ ЯДРА

1. Существование "острова стабильности"

Параллельно с последовательным синтезом новых трансфермиевых элементов все более четкой становилась основная задача, стоящая теперь перед физикой тяжелых ионов и трансурановых элементов, - проблема синтеза сверхтяжелых ядер. Существование "острова стабильности" среди "океана" нестабильных относительно деления сверхтяжелых ядер обусловлено наличием замкнутых оболочек при $Z = 114$ и $N = 184$, которые предсказаны теоретически с высокой степенью надежности. Повышенная устойчивость относительно деления ядер, близких к замкнутым оболочкам, следует как из теоретических расчетов /Святецкий и Майерс, Струтинский, Музыка, Нильссон/, так и из экспериментальных данных, полученных в области подоболочки $N = 152$. Общепризнанный метод определения оболочечной поправки к массам ядер, разработанный Струтинским, позволяет оценить величину барьера деления ядер сверхтяжелых элементов. По этим оценкам дважды магическое ядро $^{298}114$ должно иметь барьер деления 10-15 Мэв, что намного превосходит барьер деления урана /6 Мэв/. Ядра, близкие к $^{298}114$, находящиеся в центре "острова стабильности", также должны иметь достаточно высокий барьер деления и, следовательно, также будут относительно стабильны. Область сверхтяжелых ядер с повышенной устойчивостью относительно деления показана на рис. 1. Оценки, учитывающие все возможные типы распада сверхтяжелых ядер, показывают, что порядковый номер и число нейтронов наиболее долгоживущего изотопа находятся в пределах $110 \leq Z \leq 114$, $180 \leq N \leq 188$ и его время жизни может оказаться громадным /вплоть до 10^8 лет/.

В этом случае нельзя исключить такой возможности, что некоторые наиболее стабильные сверхтяжелые нуклиды могли в малых количествах сохраниться со времен первоначального нуклеогенезиса в каких-либо земных

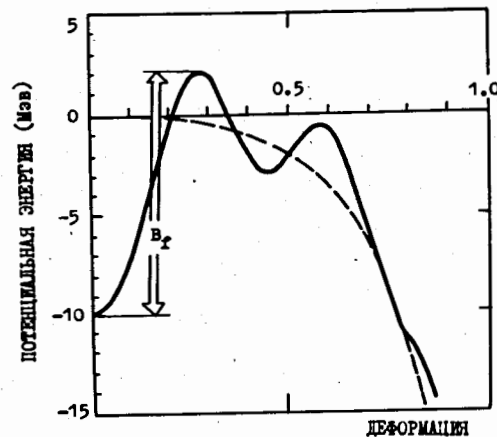
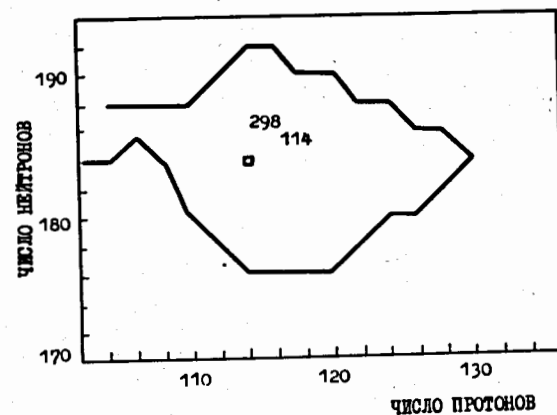


Рис. 1. Вверху - область стабильности сверхтяжелых элементов. Внизу - барьер деления ядра $^{298}114$.

или космических образцах. Эта весьма интересная гипотеза дала толчок к интенсивным поискам долгоживущих сверхтяжелых элементов в природе. Открытие таких элементов имело бы огромную научную и практическую ценность. К настоящему времени в результате большого числа экспериментов можно сделать вывод об отсутствии в природных образцах сверхтяжелых элементов на уровне концентрации 10^{-12} г/г. Имеющиеся методы поисков позволяют достичь чувствительности 10^{-15} г/г, и поиски продолжаются.

Следует, однако, отметить, что вероятность обнаружения сверхтяжелых элементов в природных образцах существенно зависит от их периода полураспада. Вместе с тем неопределенность в теоретически предсказанных значениях времен жизни сверхтяжелых ядер очень велика. Это обстоятельство подчеркивает важность концентрации усилий на пути искусственного синтеза трансурановых элементов. В этом случае можно обнаружить нуклиды с временами жизни в широком диапазоне от 10^{-17} до 10^3 лет. Единственным способом решения этой задачи является ускорение "сверхтяжелых" ионов типа Ce , Kr , Xe и U с возможно более высокой интенсивностью.

2. Попытки синтеза сверхтяжелых ядер

Первой попыткой синтезировать сверхтяжелые ядра в ядерных реакциях были опыты группы Томсона в 1967 году, в которых мишень из ^{248}Cm облучалась ионами ^{40}Ar . Поскольку конечный продукт реакции полного слияния в этом случае отстоит далеко от магического числа $N = 184$ /на 13 или более нейтронов/, отрицательный результат этих опытов не был неожиданностью. В то время не было пучков ускоренных ионов, более тяжелых, чем ионы ^{40}Ar .

Значительно больший интерес вызвали проводившиеся практически одновременно /1970-1971 годы/ эксперименты с ионами Kr /ускоритель *Alice*, Франция/ и Zn /У-300, ОИЯИ/. В опытах французской группы мишень из ^{232}Th бомбардировалась ионами ^{84}Kr с ин-

тенсивностью 2.10^8 1/сек. При этом могли образовываться ядра с $Z \leq 126$ и $N \approx 184$. Первоначальные сообщения об обнаружении высокоэнергетических α -излучателей впоследствии не подтвердились, и эти опыты позволили лишь установить верхний предел сечения образования сверхтяжелых ядер в указанной реакции на уровне 10^{-30} см². В дубненских экспериментах ионами $^{66,68}Zn$ с интенсивностью до 3.10^9 1/сек бомбардировались мишени из ^{238}U и ^{243}Am , что позволяло в принципе синтезировать сверхтяжелые ядра с $Z = 120-125$ и N , близким или равным 184. Однако и эти, более чувствительные сравнительно с французскими эксперименты дали только верхний предел сечения образования: 5.10^{-32} см².

Таблица

Реакция	Составное ядро	Сечение (см ²)	$T_{1/2}$ (сек)
$^{248}Cm + ^{40}Ar$	$^{288}114$	$\leq 5.10^{-32}$	$< 10^{-9}$
$^{238}U + ^{66}Zn$	$^{304}122$	$\leq 10^{-30}$	$< 10^{-9}$
$^{243}Am + ^{66}Zn$	$^{309}125$	$\leq 3.10^{-32}$	$< 10^{-9}$
$^{243}Am + ^{68}Zn$	$^{311}125$	$\leq 5.10^{-32}$	$< 10^{-9}$
$^{232}Th + ^{84}Kr$	$^{316}126$	$\leq 10^{-30}$	$< 10^{-2}$
$^{238}U + ^{84}Kr$	$^{322}128$	$\leq 10^{-30}$	$< 10^{-2}$

В таблице представлены полученные до настоящего времени результаты экспериментов, нацеленных на синтез сверхтяжелых ядер путем реакций слияния с образованием составного ядра. Несмотря на то, что этот метод синтеза является традиционным для получения новых элементов, следует обратить внимание на ряд особенностей, которые могут иметь место при взаимодействии

столь сложных ядер, какими являются U и Kr . Наиболее близкой аналогией для слияния таких ядер является процесс, обратный делению на два осколка, с той лишь разницей, что при столкновении в ядрах может возбуждаться более широкий спектр различных видов колебаний.

Это означает, что к решению вопросов, связанных с делением ядер, можно подойти совершенно иным путем и получить весьма важную информацию о динамике столь сложного процесса, каким является деление тяжелого ядра.

Первые эксперименты, проведенные в Орсе и Дубне, показали, в частности, что для слияния двух ядер с массой, близкой к 100, необходима энергия, существенно превышающая классический расчетный барьер реакции. Согласно современным представлениям это может быть связано с вязкостью ядерного вещества, и это свойство ядер является практически совершенно неизученным.

Возвращаясь к проблеме новых элементов, необходимо иметь в виду, что повышение барьера слияния по существу означает увеличение энергии возбуждения составного ядра. Поскольку барьер деления сверхтяжелых ядер обусловлен оболочечной структурой, возникает вопрос, насколько сохраняется эффект оболочек с ростом энергии возбуждения ядра. Так как ядро оказывается возбужденным до 50-60 Мэв, барьер его деления может быть существенно понижен и, следовательно, деление ядра на два осколка будет сильнее конкурировать с процессом испарения нейтронов. Поэтому приведенные в таблице границы сечений /до $5 \cdot 10^{-32} \text{ см}^2$ / соответствуют чувствительности, далеко не достаточной для синтеза сверхтяжелых элементов. Повышение интенсивности пучков ионов Ge , Kr и Xe до 10^{14} 1/сек позволит синтезировать сверхтяжелые ядра, если они образуются с сечением, превышающим 10^{-36} см^2 .

3. Возможности синтеза сверхтяжелых ядер

Совершенно иной подход к проблеме синтеза сверхтяжелых ядер, основывающийся на реакции деления, был

развит и обоснован в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ. Впервые на возможность синтеза сверхтяжелых ядер таким способом указал в 1964 году Г.Н.Флеров. Если предположить, что при столкновении двух тяжелых ядер ($U + Xe$, $U + U$) образуется составное ядро, которое затем делится, то осколки деления должны иметь широкие распределения по массам, зарядам и энергии возбуждения.

Экспериментальное обоснование такого способа синтеза сверхтяжелых ядер было получено в серии опытов по облучению урана ионами ^{12}C , ^{16}O , ^{20}Ne и ^{40}Ar . Измерения угловых распределений и кинетической энергии осколков деления показывают, что в этих реакциях образуется возбужденное составное ядро, которое делится на два осколка. Массовые и зарядовые распределения осколков деления также свидетельствуют о распаде составного ядра. Если экстраполировать закономерности этих распределений на более тяжелые бомбардирующие частицы, можно ожидать, что при облучении урана ионами ^{136}Xe или ^{238}U асимметричное деление в заметной доле событий будет приводить к образованию осколков с массой около 300 и $Z = 110-114$ /рис. 2/. Таким образом можно получить изотопы сверхтяжелых элементов в самом центре "острова стабильности".

Весьма существенным является то обстоятельство, что при описанном выше способе синтеза условие образования составного ядра при столкновении исходных ядер не является обязательным. Достаточным является образование некоторой составной системы, в которой сталкивающиеся ядра пребывают во взаимном контакте в течение промежутка времени свыше 10^{-20} сек . Тогда при развале этой системы образуются продукты, распределение которых по массам, зарядам и энергиям возбуждения близко к равновесному распределению осколков деления эквивалентного составного ядра.

Действительно, проведенные к настоящему времени эксперименты по облучению Ta и U ионами ^{136}Xe , ускоренными на тандем-циклотроне ЛЯР ОИЯИ, показывают равновесные массовые и зарядовые распределения продуктов, что свидетельствует о протекании процесса взаимодействия даже таких тяжелых ядер через стадию

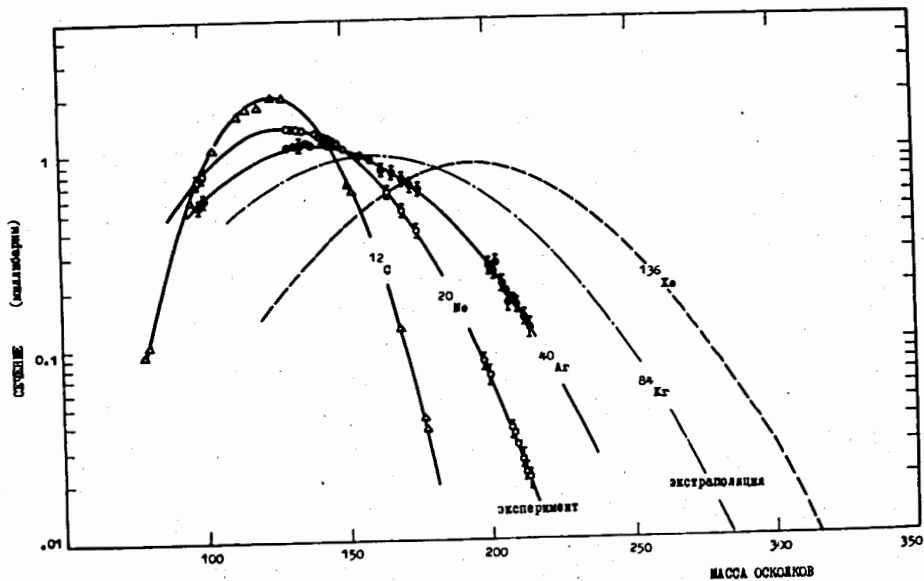


Рис. 2. Массовые распределения осколков деления до испускания нейтронов при облучении ^{238}U ионами ^{12}C , ^{20}Ne , ^{40}Ar /эксперимент/ и ^{84}Kr , ^{136}Xe /экстраполяция/.

образования составного ядра либо составной системы. По выходу осколков деления в этих реакциях можно оценить сечение образования равновесной делящейся системы в реакции $U + \text{Xe}$, которое составляет около 100 мбарн, что хорошо согласуется со сделанными ранее оценками.

Образующийся при делении системы $U + \text{Xe}$ или $U + U$ тяжелый осколок находится в возбужденном состоянии и может в свою очередь делиться. В самом деле, в реакции $\text{Ta} + \text{Xe}$ наблюдается уменьшение выхода таких делящихся тяжелых продуктов, как Ra и Ac , по сравнению с выходом соответствующих легких осколков. Учет вторичного деления этих изотопов показывает, что их первоначальный выход также соответствует предсказаниям. Оценить влияние каскадного деления на выход сверхтяжелых ядер очень трудно. По-видимому, при энергии возбуждения свыше 40 Мэв барьер деления этих ядер, обусловленный оболочечной структурой, исчезает.

Поэтому избежать деления может только та часть сверхтяжелых ядер, у которых энергия возбуждения после деления исходной составной системы сравнительно невелика. Фактор уменьшения выхода осколков деления с массой 300 за счет каскадного деления может достигать по расчетам величины от 10^4 до 10^6 . Таким образом, сечение образования сверхтяжелых ядер в реакции $U(\text{Xe}, f)$ может составлять примерно 10^{-33} - 10^{-35} см².

Эксперименты, проводящиеся в настоящее время на тандем-циклотроне Лаборатории ядерных реакций, показывают, что при облучении ^{238}U ионами ^{136}Xe образуется спонтанно делящийся излучатель с периодом полураспада около 150 дней. Выход этого излучателя соответствует сечению образования 10^{-33} см², что позволяет регистрировать 1 акт деления за 10 суток. В результате длительных облучений и экспозиций образцов удалось наблюдать всего 30 актов распада, на основании которых можно указать лишь самые общие свойства нового излучателя. Так, например, основная часть эффекта наблюдалась в химической фракции тяжелых металлов (Bi , Pb , Tl). Среднее число нейтронов на акт деления $\bar{\nu} \leq 3,5$, а кинетическая энергия осколков превышает 200 Мэв.

Из совокупности данных можно заключить, что наблюдаемый эффект трудно объяснить на основе известных представлений о спонтанном делении ядер в области $U - \text{Cf}$. Дальнейшие опыты должны быть нацелены на идентификацию и изучение свойств этих ядер, и важнейшим фактором при осуществлении этой программы является значительное увеличение интенсивности пучка ионов Xe .

Таким образом, приведенные оценки, а также предварительные результаты ведущихся на тандем-циклотроне ОИЯИ экспериментов показывают, что сверхтяжелые ядра могут быть успешно синтезированы в реакциях типа $(U + \text{Xe})$ и $(U + U)$ при достаточной интенсивности и энергии ускоренных ионов U и Xe . Для детального изучения процесса деления, лежащего в основе этого метода синтеза, энергия ионов должна достигать

10 Мэв/нуклон. Повышение интенсивности пучка от имеющегося сейчас предельного для тандем-циклотрона уровня $5 \cdot 10^{10}$ 1/сек до 10^{14} 1/сек откроет возможность применения разнообразных прецизионных методов ядерной физики и химии для идентификации и изучения свойств сверхтяжелых ядер.

IV. НОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ХИМИЯ

В настоящее время принципиальная возможность изучения химических свойств элементов на единичных атомах не является больше предметом спора. Положительному решению этой проблемы способствовали известные работы по химии галогенидов элементов 102, 103, Ku и Ns , выполненные в Дубне. Эти эксперименты проводились с помощью разработанных в Лаборатории ядерных реакций новых экспрессных радиохимических методов, основанных на работе с молекулами соединений в газовой фазе. Во всех других научных центрах, ведущих исследования новых элементов, используются только методы изучения химии элементов в водных растворах. Важной особенностью газовой химии является возможность изучения ряда классов безводных соединений, а также поведения элементов в атомарном виде.

Таким образом, сейчас имеется экспериментальная база для разностороннего изучения химии новых элементов, причем быстродействие методик достигает десятых долей секунды при работе в режиме "он лайн".

Возможность достижения такой экспрессности основана на одной из особенностей реакций с тяжелыми ионами - большой энергии отдачи продуктов. За счет отдачи можно мгновенно отделить новые атомы от вещества мишени, взяв толщину мишени меньше пробега ядер отдачи. В большинстве других методов синтеза элементов стадия отделения от мишени является одной из самых длительных.

Новые трансактинидные и сверхтяжелые элементы представляют фундаментальный интерес для химии. Несмотря на существенные успехи вычислительных методов, до сих пор не только химическая связь, но даже

электронные конфигурации атомов тяжелых элементов не могут быть рассчитаны с достаточной надежностью. Это обусловлено очень существенной ролью релятивистских эффектов, особенно в атомах сверхтяжелых элементов. Таким образом, в близком будущем развитие теоретической интерпретации химических свойств по-прежнему пойдет по пути совершенствования расчетных методов, сопоставления результатов с экспериментом и улучшения полуквантитативной трактовки. Экспериментальное изучение химии сверхтяжелых элементов должно дать материал исключительной ценности для этого процесса углубления теории. Вторым важнейшим моментом является вероятное существование у сверхтяжелых элементов необычных степеней окисления и соединений. Изучение таких явлений явилось бы большим вкладом в общую химию. Весь комплекс исследований с очень тяжелыми ионами постоянно ставит новые радиохимические задачи ввиду сложности смеси продуктов, малого выхода, коротких времен жизни и таким образом стимулирует совершенствование радиохимических методов.

Рукопись поступила в издательский отдел

28 мая 1973 года.