

0 341.2Г

24/1.72

90-716

+

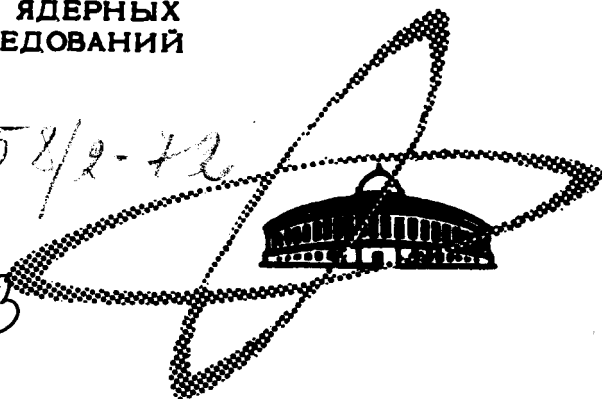
ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P7 - 6153

154/2-72

6153



Г. Н. Флеров

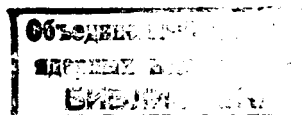
ЭКСПЕРИМЕНТЫ ОИЯИ (ДУБНА)
ПО СИНТЕЗУ И ПОИСКУ В ПРИРОДЕ
ТРАНСУРАНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

P7 - 6153

Г.Н. Флеров

**ЭКСПЕРИМЕНТЫ ОИЯИ (ДУБНА)
ПО СИНТЕЗУ И ПОИСКУ В ПРИРОДЕ
ТРАНСУРАНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

(Текст выступления в Женеве на *IV* конференции ООН
по мирному использованию атомной энергии)



Немногим более 10 лет назад в международном исследовательском центре социалистических стран в Дубне по инициативе и при поддержке выдающегося советского ученого-физика академика И.В. Курчатова был создан ускоритель многозарядных ионов, предназначавшийся, в основном, для синтеза и изучения свойств новых трансурановых элементов (рис.1).

Ускоритель Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований - это классический циклотрон с диаметром полюсов 310 см. Уже в течение 10 лет он является установкой, рекордной по своим основным параметрам - энергии, интенсивности и ассортименту ускоряемых частиц. На рис. 2 изображен график зависимости интенсивности пучка от сорта ионов на этом циклотроне. Для сравнения приведены аналогичные характеристики линейного ускорителя *HLAC* (Беркли, США).

Нам представлялось безусловным (этого мнения мы придерживаемся и теперь), что традиционные методы синтеза элементов с помощью реакторов и ядерных взрывов полностью исчерпали себя вблизи соотога элемента, и дальнейшее продвижение с применением этих методов вряд ли возможно.

Тяжелые ионы дают возможность скачком увеличить порядковый номер элемента на 10, 15, 20 единиц, и не видно принципиальных ограничений в получении элементов с любым порядковым номером. У читателя, естественно, возникает вопрос, почему же при всех этих преимуществах

за 10 лет работы получено не 20 и не 10 новых элементов, а всего четыре, от 102 до 105, и даже по ним до сих пор ведется дискуссия. Специфика реакций с тяжелыми ионами такова, что наряду с синтезом ядер трансурановых элементов возникает большое число фоновых альфа- и спонтанно делящихся активностей, которые очень сильно усложняют идентификацию новых излучателей. Соотношение примерно такое - один атом нового элемента в час на 1 миллион атомов побочных продуктов в секунду.

Поэтому в Лаборатории ядерных реакций с самого начала ее деятельности большое внимание уделялось тщательному изучению процессов, приводящих к возникновению фоновых активностей, а именно: реакций многонуклонных передач, деления ядер, а также реакций на примесях в мишени (особенно на свинце), в результате которых образуются продукты с радиоактивными свойствами, имитирующими свойства элементов в трансфермиевой области.

При выполнении этих исследований в Лаборатории были открыты три новых вида радиоактивности (рис. 3). Это - спонтанное деление изомерного состояния ядра, существенно отличающегося по форме от ядра в основном состоянии^{/1/} (рис. 4), затем запаздывающее деление, т.е. деление ядер, удаленных от области стабильности, происходящее после β -распада^{/2/} (рис. 5), и третий вид - испускание запаздывающих протонов нейтронодефицитными ядрами после их β -распада^{/3/} (это явление было независимо открыто проф. Беллом и др. в Канаде, рис. 6).

Существование этих видов радиоактивности подтверждено работами ученых других стран, и в настоящее время эти явления широко изучаются в целом ряде мест.

Тщательное изучение природы фона дало нам возможность получить новые трансурановые элементы от 102 до 105 включительно сравнительно легко, без существенных ошибок в окончательной интерпретации

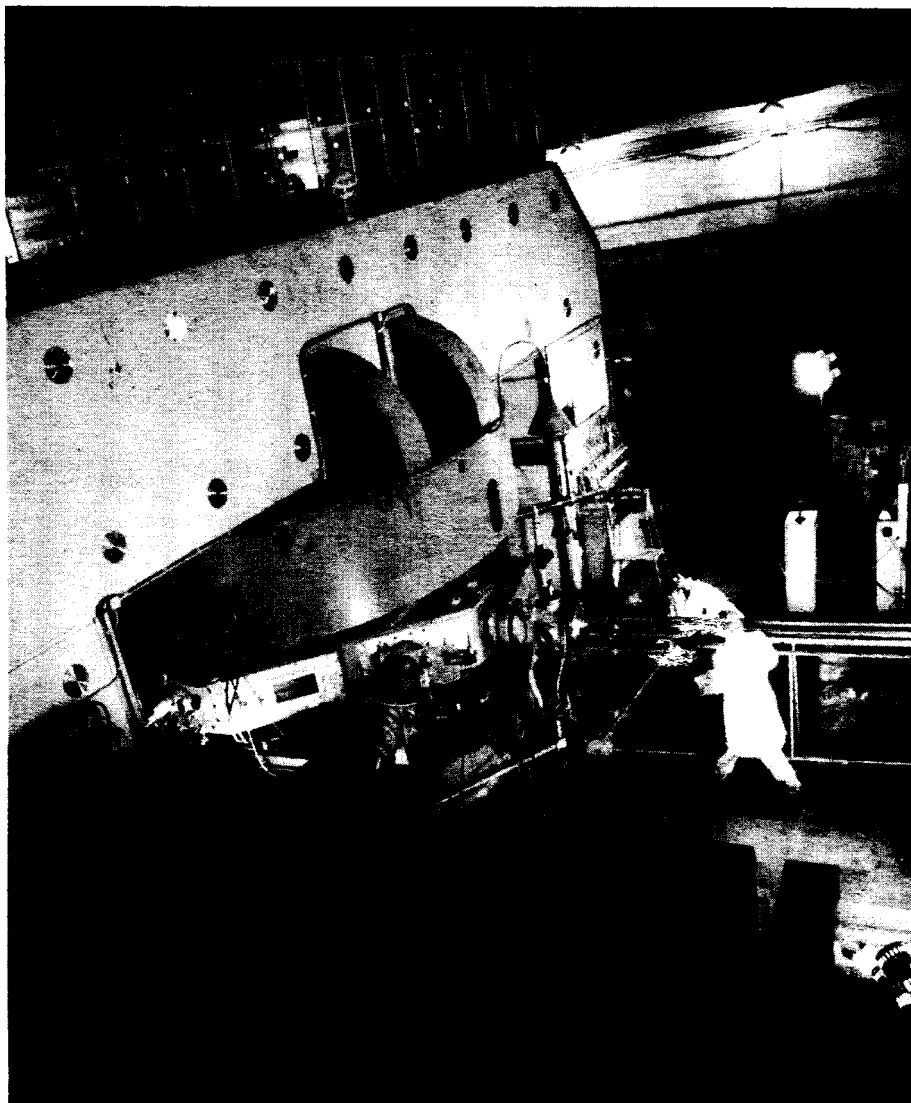


Рис. 1. Ускоритель У-300 Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований.

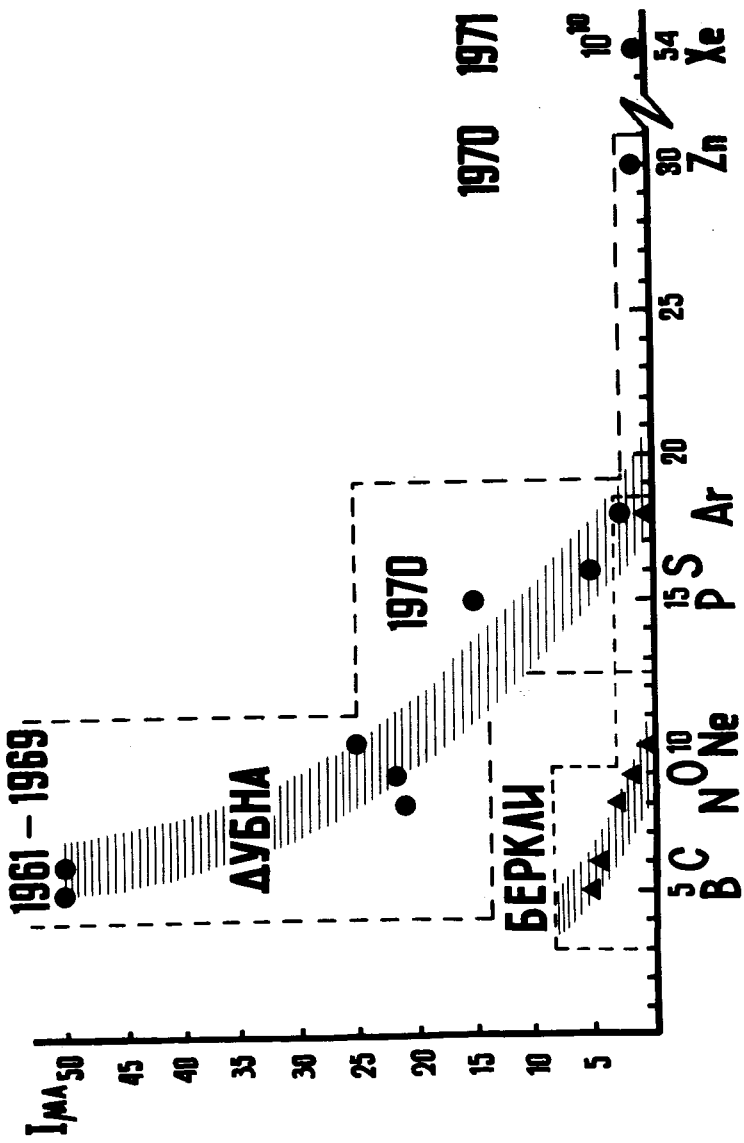


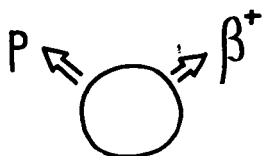
Рис. 2. Сравнительные характеристики пучков ионов на ускорителях У-300 (Дубна) и *HILAC* (Беркли).



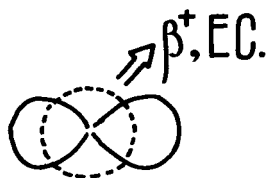
ВИДЫ РАДИОАКТИВНОСТИ, ОТКРЫТЫЕ В ДУБНЕ



**СПОНТАННО
ДЕЛЯЩИЕСЯ
ИЗОМЕРЫ**
(С.М. ПОЛИКАНОВ И ДР.)



**ИСПУСКАНИЕ
ЗАПАЗДЫВАЮЩИХ
ПРОТОНОВ**
(В.А. КАРНАУХОВ И ДР.)



**ЗАПАЗДЫВАЮЩЕЕ
ДЕЛЕНИЕ**
(Н.К. СКОБЕЛЕВ И ДР.)

Рис. 3.

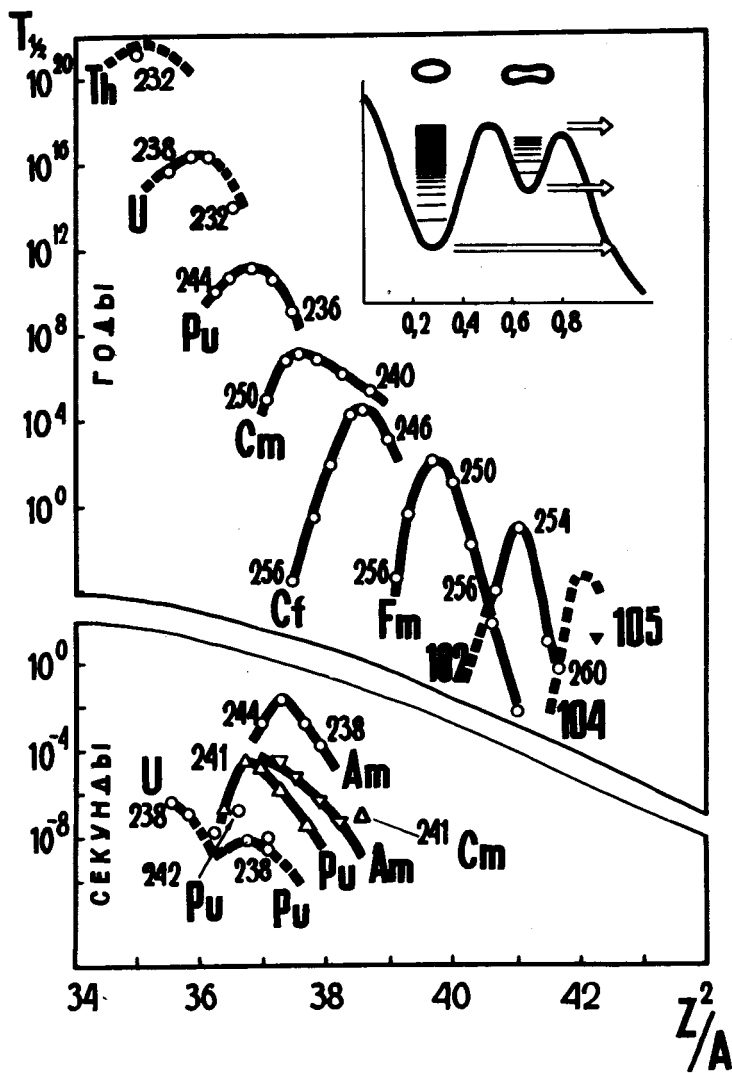


Рис. 4. Систематика периодов спонтанного деления из основного (вверху) и изомерного (внизу) состояний.

^{228}Np 60 сек.
 ^{232}Am 14 мин.
 ^{234}Am 2,6 мин.

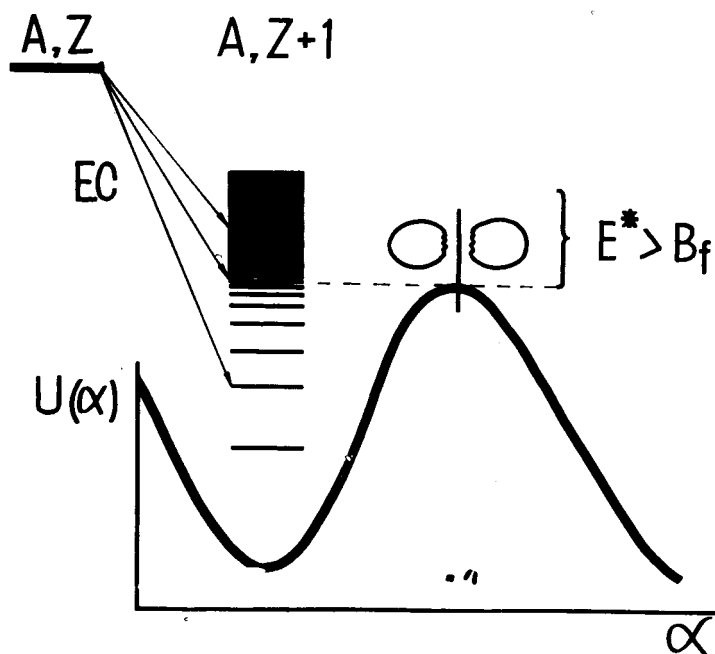


Рис. 5. Схема процесса запаздывающего деления после β -распада.

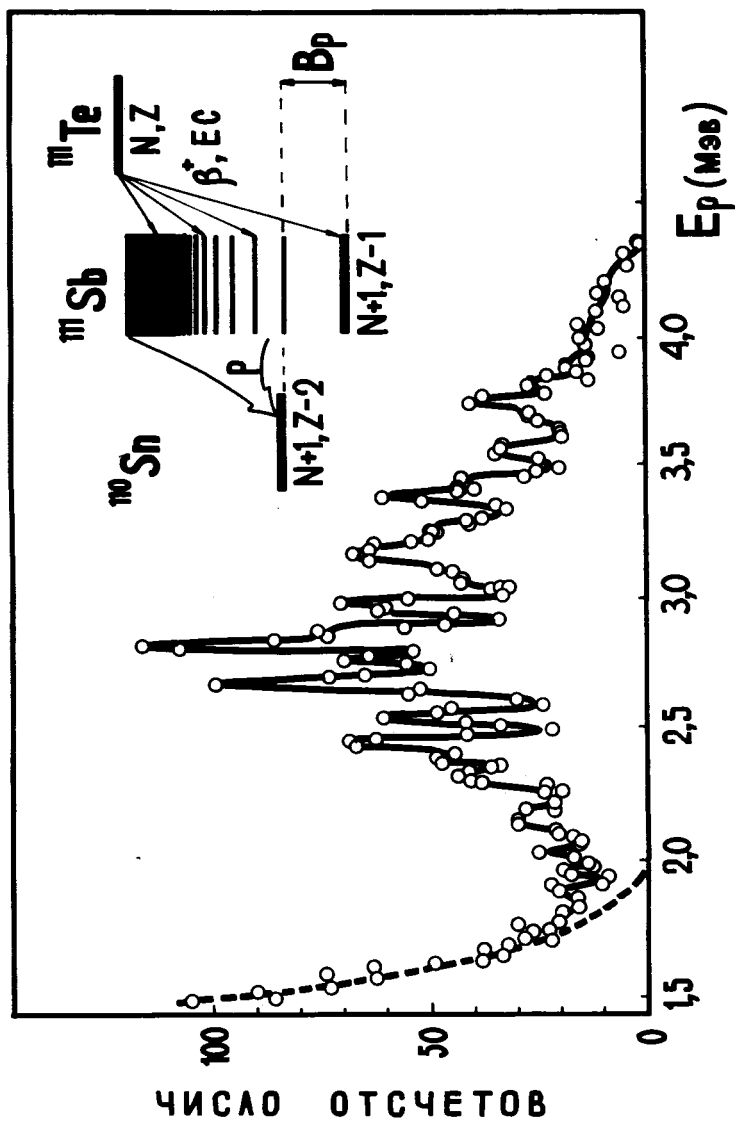


Рис. 6. Схема процесса испускания запаздывающих протонов и спектр запаздывающих протонов.

данных, поскольку возможные источники фона были известны и учитывались при анализе результатов^{/4/}.

Элементы 102 и 103 были идентифицированы достоверно в Дубне в 1963-1966 г.г. 104 элемент получен в Дубне в 1964 году, а в 1966 году изучены его химические свойства.

Результаты опытов по синтезу элемента 105 и изучению его спонтанного деления в Дубне были опубликованы в научной печати в начале 1970 года^{/5/}, за два месяца до появления первых сообщений об американских опытах по альфа-распаду 105 элемента. В Дубне изучены также альфа-распад и химические свойства нового 105 элемента. На рис. 7 мы попытались графически изобразить хронологию открытий для того, чтобы внести ясность в их историю. Достаточно сказать, что по элементу 102 уже имеется 27 отдельных работ.

Читателю, очевидно, известно, что открытие и достоверность данных по элементам 102, 103, 104, 105, полученных в Дубне, подвергались сомнению со стороны отдельных групп американских ученых. Насколько эти возражения по каждому из элементов несостоятельны, я постараюсь более подробно показать на примере истории элемента 104.

В 1964 году при облучении ^{242}Pu ионами ^{22}Ne в Дубне был синтезирован изотоп $^{260}_{104}$, испытывающий спонтанное деление с периодом полураспада 0,2 - 0,4 сек (в дальнейшем эта величина была измерена более точно и оказалась равной 0,1 сек). В 1966 г. другой изотоп $^{259}_{104}$ был выделен химически с применением экспрессного разделения продуктов ядерных реакций в газовой фазе. Это дало авторам физических и химических работ полное право обратиться в 1967 году в ИЮПАК с предложением присвоить элементу 104 название курчатовий.

Исследования по синтезу элемента 104 в США были начаты лишь спустя четыре года после получения первых дубненских результатов. В 1968-70 г.г. берклиевская группа изучила α -распад некоторых изото-

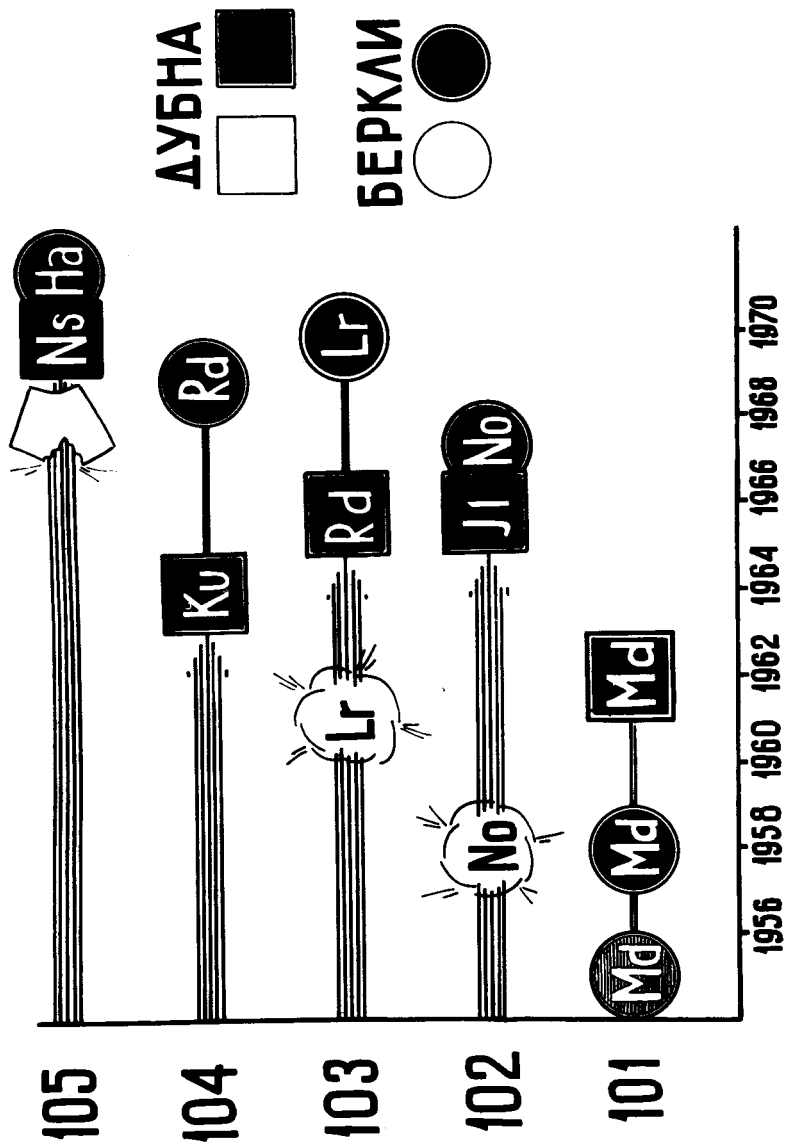


Рис. 7

пов 104 элемента. Однако спонтанное деление она не могла, на наш взгляд, надежно изучить ввиду низкой чувствительности методики и невозможности подавления фона от спонтанного деления кюриевой мишени.

Тем не менее берклиевская группа неоднократно высказывала сомнения относительно правильности дубненских результатов вместо их делового обсуждения. Причем это имело место как на первом этапе (до 1968 года), когда никаких прямых опытов по синтезу 104-го элемента в Беркли не проводилось, и вся критика основывалась на одной из возможных экстраполяциях известных данных по элементам с меньшими Z , так и в последующие годы, когда берклиевская группа не смогла наблюдать спонтанное деление $^{260}_{104}$ из-за неудовлетворительной постановки опыта.

Новые эксперименты, проведенные в Дубне в 1969 году, позволили выяснить ряд дополнительных свойств 104 элемента, выделить в наблюдаемом спонтанном делении два периода полураспада 0,1 и 3,5 сек и даже оценить количественно химические свойства курчатовия, а именно, температуру кипения $KuCl_4$, которая равна $450 \pm 50^\circ$. Таким образом, в Дубне изучаются детально свойства 104-го элемента, в то время как в США еще не пройдена начальная фаза по изучению спонтанного деления. Поэтому нам представляется, что полемика вокруг элемента 104 является излишней.

В связи с этим мы обратились к американским коллегам с предложением приехать в Дубну и на всех возможных комбинациях мишеней и частиц вместе с нами получить все изотопы 104-го элемента, детектируя их спонтанное деление и α -распад. Мы видим в этом одну из возможностей быстрого окончания дискуссии.

Теперь я хотел бы остановиться на перспективах дальнейшего развития работ по синтезу и изучению свойств новых элементов. Эти работы имеют богатое прошлое, насыщенное результатами настоящее и захватывающее своими масштабами будущее.

Рис. 8 дает представление о возможных направлениях будущих исследований. На нем показано время жизни наиболее устойчивых изотопов в зависимости от Z .

По теоретическим оценкам стабильности ядер и некоторым экспериментальным указаниям, по-видимому, имеет место следующая ситуация: если периоды полураспада элементов от 92 до 104 непрерывно уменьшаются, доходя до очень малых величин, то далее в области 112-116, а также 120-128 возможно существенное повышение стабильности (в 10^{10} - 10^{20} раз). Представляет большой интерес попытаться синтезировать элементы из этой области и экспериментально проверить их основное свойство - стабильность.

Вместе с тем полезная информация о стабилизирующем влиянии оболочечной структуры может быть получена и при подходе к этой области слева, т.е. путем последовательного синтеза новых ядер с $Z = 106-111$.

В нашей Лаборатории проведено существенное усовершенствование ускорителя и источников многозарядных ионов, которое позволило ускорить ионы фосфора ($Z = 15$) при интенсивности пучка до 20 мка. В настоящее время с помощью этих ионов мы имеем возможность синтезировать элементы с Z от 106 до 111. О первых экспериментах по синтезу 107 элемента уже сообщалось весной этого года на конференции по физике тяжелых ионов, происходившей в Дубне.

С целью проникновения в область $Z = 126$ в Лаборатории был ускорен цинк ($Z = 30$) с интенсивностью $\sim 10^{10}$ частиц/сек. Облучая америциевыми ионами цинка, мы пытаемся проверить ожидаемое повышение стабильности 125 элемента. Подобные же эксперименты проводятся параллельно нашими коллегами из Орсе (Франция), которые для этой цели, однако, ускоряют ионы криптона ($Z = 36$).

Наиболее интересной представляется, на наш взгляд, область с $Z = 114$ и $N = 184$. К проблеме поиска изотопов вблизи дважды магического ядра $^{298}_{114}$ возможны два подхода.

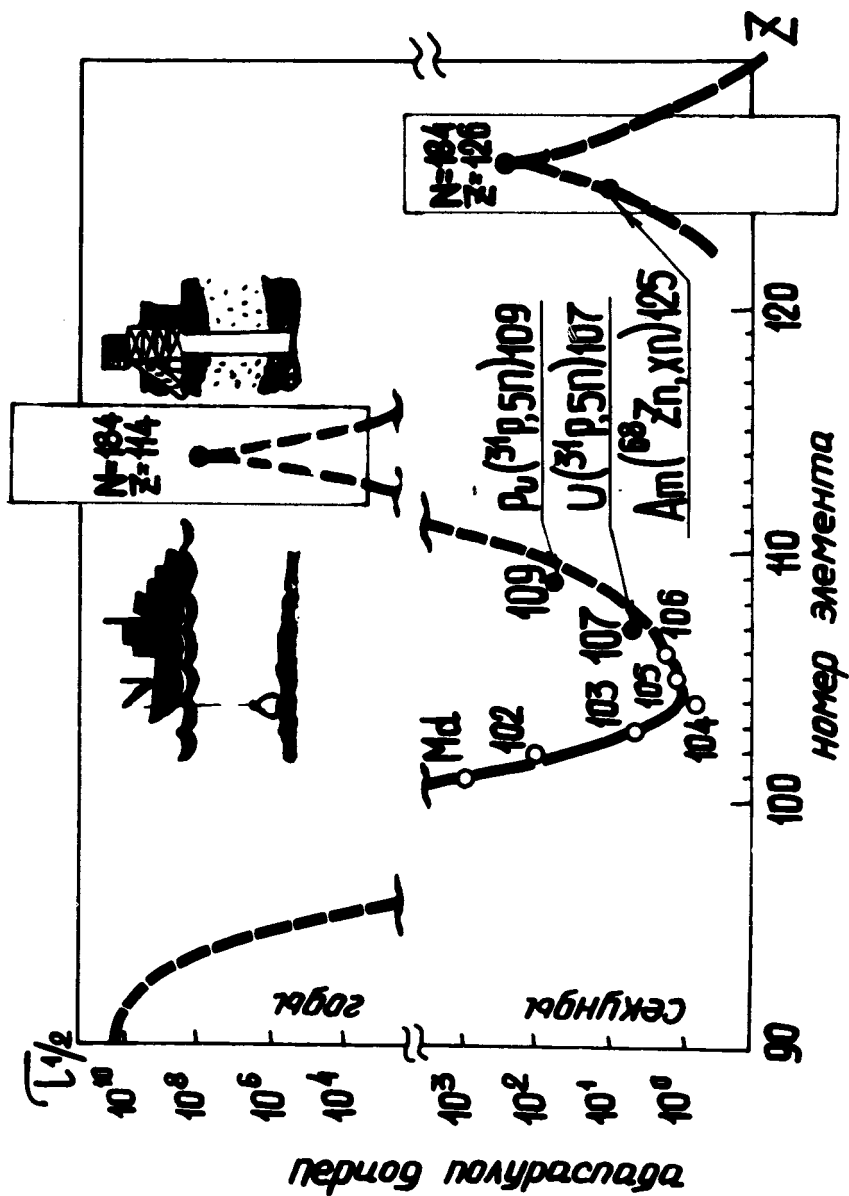


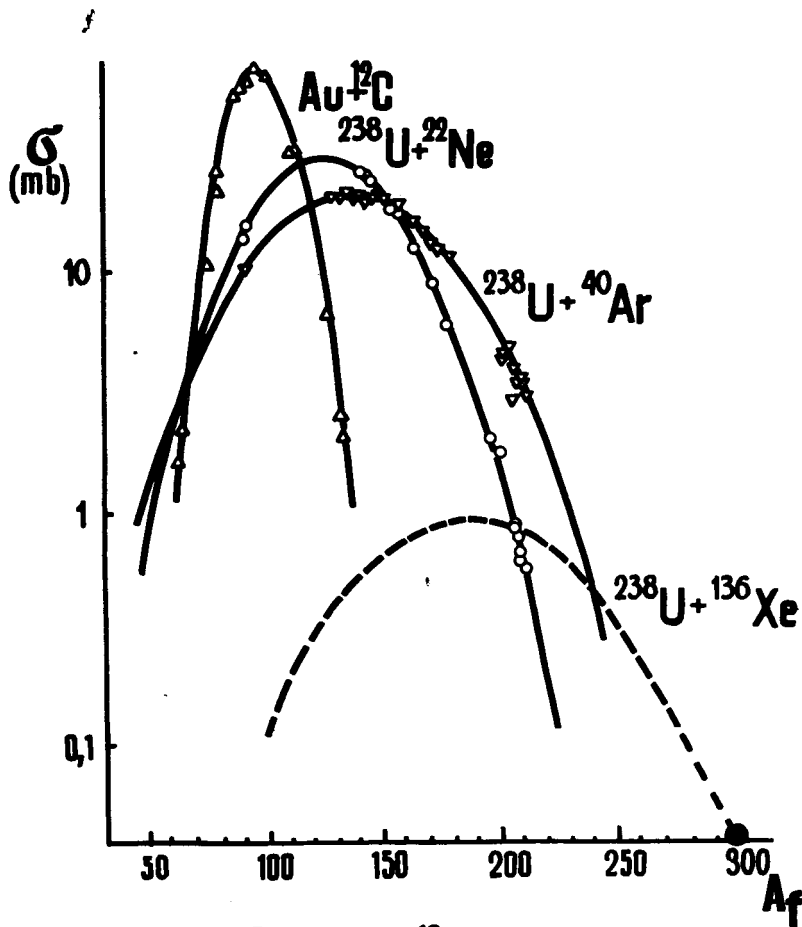
Рис. 8. Современные направления поисков сверхтяжелых элементов в природе.

Первый - это использование реакций деления при облучении мишеней очень тяжелыми ионами, такими как ксенон или уран^{/6/}.

На рис. 9 показаны экспериментальные данные по выходам продуктов деления и их экстраполяция для ксенона в качестве бомбардирующей частицы. Она указывает на возможность получения очень тяжелых изотопов до $A = 300$, а, следовательно, и дважды магического ²⁹⁸114. В настоящее время с помощью двух циклотронов, объединенных в тандемную систему, в Лаборатории ядерных реакций уже ускоряются ионы ксенона (рис. 10). Сравнительно легко, за 4 месяца была достигнута интенсивность пучка $\sim 5 \cdot 10^8$ частиц/сек^{/7/}.

Другой подход к проблеме сверхтяжелых элементов основан на наиболее оптимистических оценках их стабильности. Не исключено, что в процессах нуклеосинтеза, имевших место примерно $6 \cdot 10^9$ лет назад, могли образовываться и элементы из области повышенной стабильности.

В свое время в работах Жоли, Шинтельмейстера, Чердынцева, Адамса и их коллег были получены экспериментальные указания на присутствие в определенных минералах новых, неизвестных альфа-излучателей. Весьма соблазнительным явилось предположение, что эти неопознанные излучатели принадлежат сверхтяжелым элементам. Для проверки этого предположения в Лаборатории ядерных реакций в течение последних трех лет проделана большая работа по анализу альфа-спектров образцов из соответствующих минералов с использованием более прецизионных, чем в прежних работах, методов. Однако пока не удалось обнаружить какие-либо факты, подтверждающие прежние наблюдения. Большие трудности в такого рода исследованиях обусловлены загрязнением образцов техногенными α -излучателями, произведенными за последние несколько десятков лет.



$I_{Xe} = 2 \cdot 10^{10}$ ЧАСТИЦ/СЕК
 ВЫХОД ИЗОТОПОВ: $^{298}114 \sim 6 \cdot 10^3$ АТОМОВ/ЧАС
 $^{294}110 \sim 2 \cdot 10^2$ АТОМОВ/ЧАС

Рис. 9. Сечения образования первичных осколков с различными массами в реакциях деления. Δ , ∇ , \circ - экспериментальные значения, ----- - расчетная кривая.

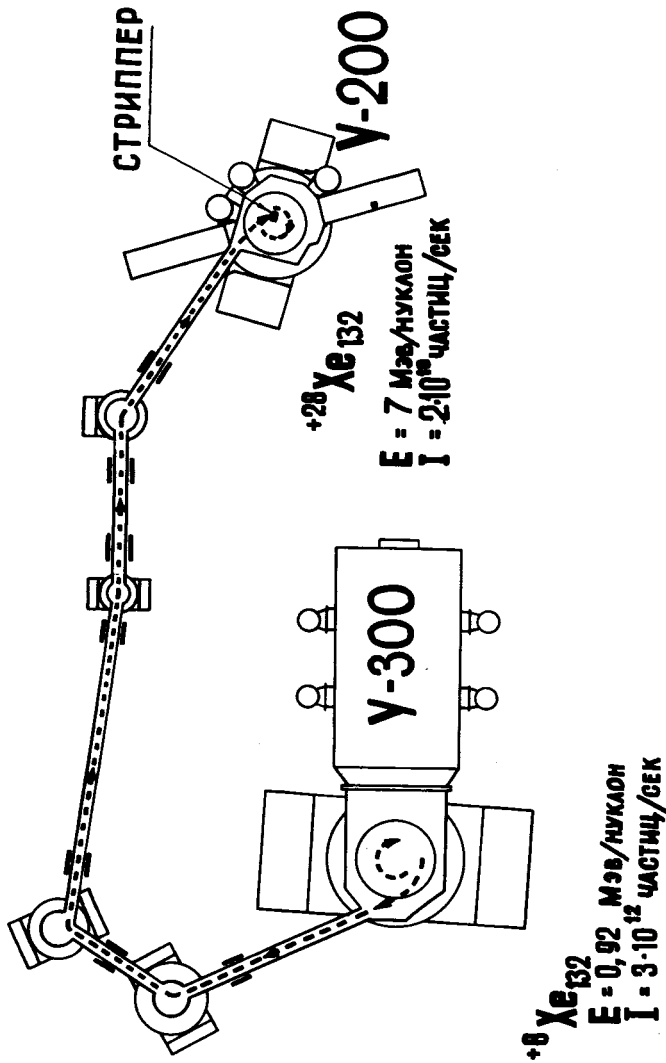


Рис. 10. Ускорение ионов ксенона тандемной установкой из двух циклотронов Y-300 и Y-200.

Поэтому мы обратились к другому возможному типу распада - спонтанному делению, изучение которого является традиционным для нас уже в течение 30 лет.

В этом случае основным источником фона является природный уран, а большинство техногенных элементов, к счастью, не делятся спонтанно. Для поисков в природе спонтанно делящихся изотопов сверхтяжелых элементов в Лаборатории были разработаны три высокочувствительные методики с чувствительностью до 10^{-16} грамма на грамм: это большие пропорциональные счетчики осколков деления, измерение кратных совпадений нейтронов деления и регистрация совпадающих треков осколков деления при использовании двух слоев диэлектрических пленок. На рис. 11 схематически показаны эти методики и их возможности.

С помощью этих приборов в течение последних двух лет исследовалось большое количество различных геологических образцов: минералов, руд, метеоритов, конкреций, природных вод и других материалов.

У нас имелись некоторые указания на то, что в различных природных объектах наблюдаются спонтанно делящиеся излучатели. Однако в дальнейшем оказалось, что был несколько недооценен фон от космических лучей. После усиления защиты фон на больших пропорциональных счетчиках был снижен до одного импульса за 200 дней. Проводились повторные измерения. Оказалось, что в ряде объектов ранее наблюдаемый эффект в существенной степени был связан с космическими лучами. Однако для отдельных образцов эффект сохранился и не может быть объяснен ни спонтанным делением урана, ни действием космических лучей. Дальнейшие усилия Лаборатории направлены на подтверждение полученных результатов, а также химическое обогащение образцов и исключение фона от возможных примесей техногенных спонтанных излучателей.

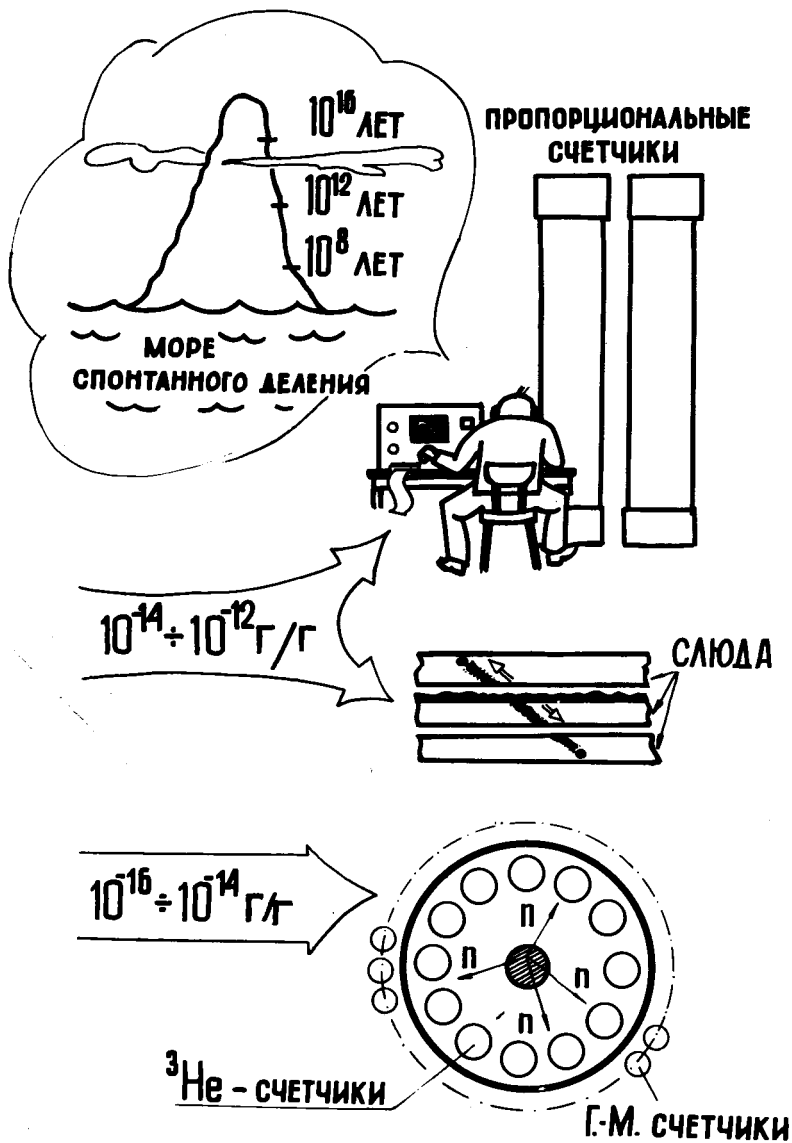


Рис. 11. Различные методики, используемые в Лаборатории ядерных реакций для поисков в природе долгоживущих спонтанно делящихся изотопов.

Вначале мы изучали стекла возрастом в несколько сотен лет, содержащие свинец, висмут, галлий и т.д., пытались найти в них следы спонтанного деления неизвестных элементов (рис. 12). Это идеальные индикаторы. Чувствительность этого метода составляет $\sim 10^{-13}$ г/г содержания спонтанно делящихся ядер.

Думая о том, что надо искать не только в стеклах и минералах, мы, естественно, развивали методики, которые позволяют исследовать большие количества самых различных веществ. Это привело нас к созданию больших пропорциональных счетчиков (рис. 13). Помещая в них различные вещества мы искали, ищем и будем искать материал с заметной концентрацией спонтанно делящихся сверхтяжелых элементов.

Мы изучаем образцы железомарганцевых конкреций со дна Тихого океана (рис. 14). На глубине больше 5000 м имеются конкреции, которые являются селективными поглотителями тяжелых элементов таких, как свинец, висмут, галлий, ртуть и в очень малой степени уран. Вопрос защиты от космических лучей здесь решается идеально. Воодушевленные этими возможностями в прошлом году мы организовали экспедицию в Тихий океан (рис. 15). Было извлечено около 10 т конкреций, которые в данный момент обрабатываются.

Очень интересной также является возможность обойти самую сложную химическую стадию вскрытия (растворения) образцов, используя разнообразнейшие водные источники, в которых вода проходит и промывает геологические слои, находящиеся на глубинах. Поэтому в этом году была организована экспедиция в пустыню, где имеются источники исключительно разнообразного элементного состава для того, чтобы из этих вод также пытаться селективно выделять элементы - свинец, висмут и т.д., а также соответствующие экзэлементы.

Мы использовали очень большие ионообменные колонки с количеством смолы около 1 т, сквозь которые было пропущено 50 тысяч кубо-



Рис. 12. Образцы старых стекол, в которых отыскивались следы спон-ганного деления.



Рис. 13. Большие пропорциональные счетчики для регистрации осколков деления.

метров воды исключительно богатого состава (рис. 16). То, что извлекается из смолы, подвергается дальнейшей химической обработке, чтобы получить отдельные элементы.

И, наконец, исследования вулканических образцов.

Ведутся работы по извлечению возможных сверхтяжелых элементов из вулканических материалов, которые выходят из глубины земли и не успевают подвергнуться химической дифференциации. Через 2 года после извержения одного из вулканов Камчатки остывшие образцы были доставлены в Дубну. Опыты с ними проводятся.

После трех лет работы выяснилось, что проблема ^{стр 28} поиска сверхтяжелых ядер сопряжена с решением чрезвычайно сложных задач, стоящих на пределе возможностей эксперимента. Несомненно нужен широкий и планомерный фронт исследований с использованием промышленных установок для обработки большого количества исследуемых природных материалов.

Подводя итоги полученных результатов, хочется надеяться, что полемика вокруг открытия 102-105 элементов будет в ближайшем будущем завершена, а усилия экспериментаторов и теоретиков будут сконцентрированы на продвижении в интереснейшую область ядерной физики и химии — в область сверхтяжелых элементов.

Мы думаем, что в 1972 году в Дубне будет проведен синтез элементов 106-107 и изучены их химические свойства; экспрессная химическая методика подготовлена.

Вместе с тем у нас будет продолжаться синтез элементов с Z-126, хотя полученные результаты до сих пор не дают основания для оптимизма.

В ближайшее время, используя ускоренный ксенон, мы выясним, являются ли оценки выхода новых элементов в делении оптимистическими или пессимистическими. Мы посмотрим, как с помощью ксенона



Рис. 14. Образцы конкреций, в которых велись поиски следов спонтанного деления.

Рис. 15. Извлечение конкреций со дна океана.



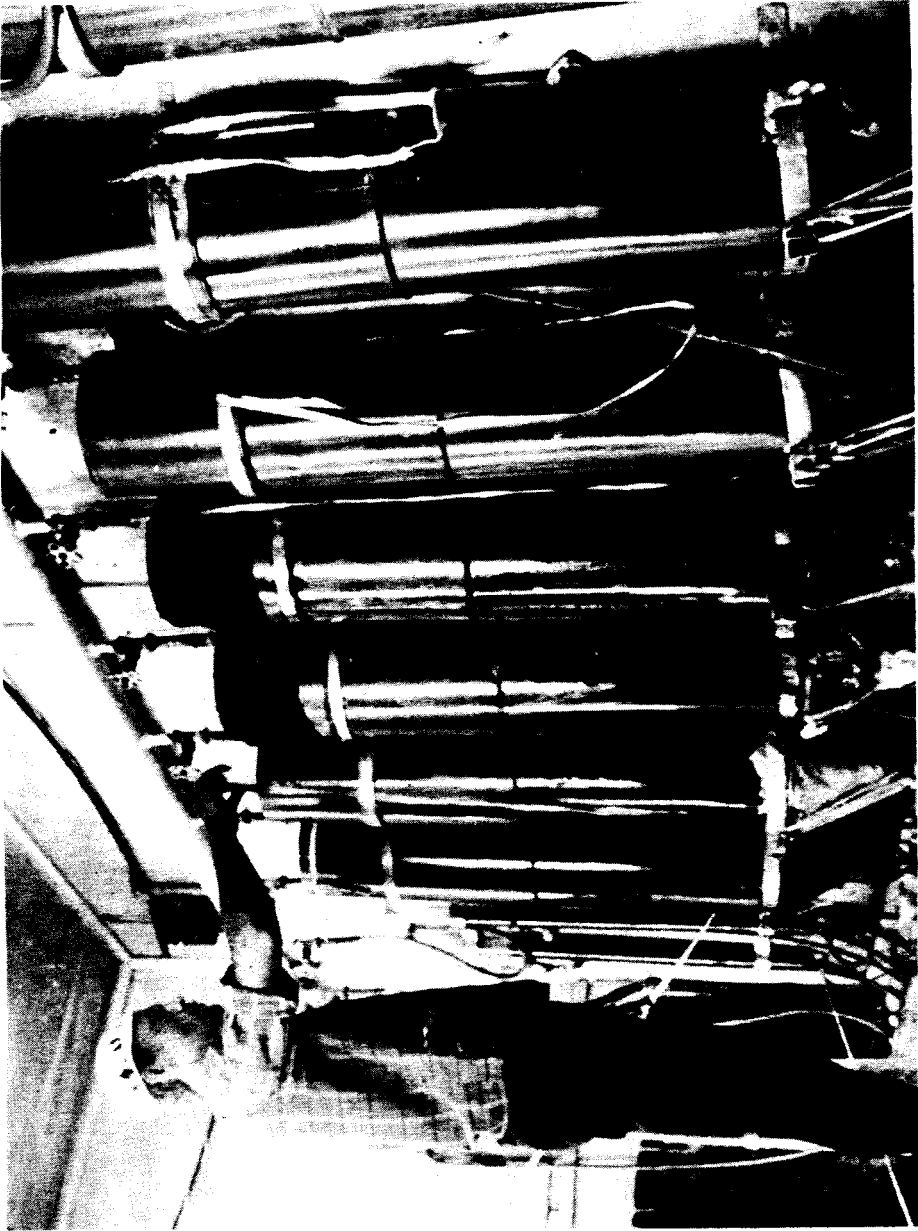


Рис. 16. Большие ионообменные колонки, используемые для анализа подземных вод.

синтезируются знакомые элементы с $Z = 96-98$ для того, чтобы определить, насколько это направление перспективно.

Основные усилия Лаборатории в ближайшие годы будут направлены также на дальнейшие поиски сверхтяжелых элементов. Открытие долгоживущих сверхтяжелых элементов внесет огромный вклад в понимание строения ядер, а получение их в большом количестве даст возможность использовать мишени из этих сверхтяжелых элементов как стартовую площадку для дальнейшего синтеза новых элементов и изотопов.

Л и т е р а т у р а

1. Г.Н. Флеров, В.А. Друин. Препринт ОИЯИ, Р-2539, Дубна, 1966.
2. Н.К. Скобелев. Препринт ОИЯИ, Р7-5584, Дубна, 1971.
3. В.А. Карнаухов, Г.М. Тер-Акопян, В.Г. Субботин. Препринт ОИЯИ, Р-1072, Дубна, 1962. Г.Н. Флеров и др. ЖЭТФ, 47, 419 (1964).
4. Г.Н. Флеров, И. Звара. Препринт ОИЯИ, Д7-6013, Дубна, 1971.
5. Г.Н. Флеров и др. Препринт ОИЯИ, Р7-4932, Дубна, 1970.
6. G.N.Flerov, V.A.Karnaukhov, in C.Rendus du Congres Intern. de Physique Nucleaire 2-8July, 1964; vol.1, p.373. Г.Н. Флеров. Препринт ОИЯИ, Р7-3617, Дубна, 1967.
7. И.А. Шелаев и др. Препринт ОИЯИ, Р9-6062, Дубна, 1971.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 декабря 1971 года.