

С 341.2r  
Ф-716

16/III 170.



P6 - 4902

Г.Н. Флеров, С.А. Карамян

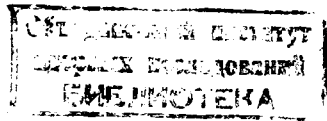
**ПОИСКИ  
СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРИРОДЕ:  
ОСНОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

P6 - 4902

Г.Н. Флеров, С.А. Карамян

ПОИСКИ  
СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРИРОДЕ:  
ОСНОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Доклад, представленный  
на Международный Менделеевский конгресс в Турине.  
(Италия, сентябрь 1969 г.).



## 1. Введение

100 лет назад Дмитрий Иванович Менделеев открыл важнейший для развития физических и химических наук закон периодичности изменения свойств элементов в зависимости от их атомного номера. При жизни Д.И.Менделеева самым тяжелым из известных элементов был уран - элемент с атомным номером 92. Менделеев писал 70 лет назад в "Основах химии": "Убеденный в том, что исследование урана, начиная с его природных источников, поведет еще ко многим новым открытиям, я смело рекомендую тем, кто ищет предметов для новых исследований, особенно тщательно заниматься урановыми соединениями"<sup>1/</sup>. Действительно, изучение урана привело к открытию естественной радиоактивности, которое положило начало всей современной ядерной физике. При изучении ядер были обнаружены характерные закономерности периодического изменения их свойств с заполнением ядерных оболочек. Ста-✓ла ясной принципиальная роль атомного веса изотопов, определяющего наравне с атомным номером элемента все ядерные свойства каждого изотопа, в том числе и его стабильность. Одно из самых интересных явлений физики - существование острова ядерной стабильности в районе  $Z > 90$  (Th, U, ...) объясняется в настоящее время проявлением оболочечных эффектов в структуре ядерной материи.

кн.

При изучении естественной радиоактивности тория и изотопов урана усилиями Марии и Пьера Кюри и других исследователей первой половины XX -го столетия удалось получить сведения о короткоживущих элементах с  $83 < Z < 90$ , находящихся в радиоактивном равновесии с долгоживущим предком в продуктах его распада. Элементы франций и астат, правда, были синтезированы искусственно прежде, чем найдены в продуктах распада тория и урана. Не существующий в природе элемент с  $Z = 61$  - прометий впервые был обнаружен в продуктах вынужденного деления ядер урана под действием нейтронов.

Наличие в природных земных минералах трех долгоживущих нуклидов,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ , позволило в результате прогресса ядерной физики искусственно синтезировать большое число изотопов 13 новых элементов с атомными номерами от  $Z = 93$  до  $Z = 105$  и изучить их свойства.

Первая попытка получить новые трансурановые элементы была предпринята Энрико Ферми в его экспериментах 35-летней давности по изучению взаимодействия нейтронов с веществом. И хотя эта попытка оказалась неудачной, но в дальнейшем успешный синтез элементов, начиная с  $\text{Np}$  и  $\text{Pu}$  и до  $\text{Fm}$ , был осуществлен именно методом Ферми, но при значительно более высоких плотностях потоков нейтронов. Планомерная программа синтеза новых элементов с использованием нейтронных облучений была выполнена в США в послевоенные годы под руководством Г.Сиборга. Было открыто 9 новых элементов и с высокой степенью достоверности изучены их физические и химические свойства. Однако этот метод, по-видимому, исчерпал себя, так как даже применение подземных ядерных взрывов, дающих чрезвычайно высокие плотности нейтронных потоков, не позволяет продвинуться в синтезе элементов дальше 100-го элемента ( $\text{Fm}$ ). Этот этап работы по синтезу трансурановых элементов подробно освещен в обзоре Сиборга<sup>12/</sup>.

К настоящему времени изучение тяжелых ядер продолжает оставаться одним из интереснейших разделов ядерной физики. Огромное влияние этого научно-технического направления на многие стороны практической деятельности людей. Ядерная физика делящихся элементов дала человечеству гигантские новые технологические возможности, на основе которых в передовых странах мира развита мощная промышленность и энергетика.

В то же время в области химических наук изучение элементов на границе периодической системы Менделеева не привело к столь же революционным открытиям, на что, возможно, надеялся Дмитрий Иванович Менделеев.

Оказалось, что элементы с  $89 \leq Z \leq 103$  обладают близкими химическими свойствами и образуют группу актиноидов, подобно ранее известной группе аналогов лантана - лантаноидов. Исследование химических свойств актиноидов явилось одной из интереснейших проблем современной химии, имеющей важнейшее практическое значение в связи с развитием ядерной энергетики.

Были созданы новые материалы и соединения искусственно синтезированных трансурановых элементов, которые сейчас интенсивно используются в ядерной промышленности и технике. Однако из-за химического подобия актиноидов материалы и химические соединения каждого из них не обладают существенно оригинальными механическими, оптическими и электрическими свойствами. Качественно новые химические свойства присущи лишь элементам с  $Z > 103$ , первый из которых - курчатовий, открытый в 1964 году в Дубне, имеет время жизни десятки доли секунды.

Здесь следует отметить, что задача синтеза элементов с  $Z > 101$  обладает определенными специфическими особенностями и принципиальными трудностями. Малое время жизни изотопов этих элементов, изме-

ряемое секундами и долями секунд, не позволяет применять обычную химическую методику для идентификации этих элементов в опытах по их синтезу. Низкое сечение образования элементов с  $Z > 101$  в реакциях с ускоренными тяжелыми ионами приводит к недостаточной статистической обеспеченности экспериментов и ставит на грань возможного опыты по синтезу 104-го и 105-го элементов.

Несмотря на эти трудности, нам в Дубне удалось впервые синтезировать и однозначно идентифицировать шесть изотопов 102-го элемента <sup>/3/</sup>, три изотопа 103-го элемента (см. обзор <sup>/4/</sup>), 104-ый элемент <sup>/5,6/</sup> и получить предварительные данные о свойствах 105-го элемента <sup>/7/</sup>. Были проделаны чрезвычайно важные эксперименты по химии 102-го, 103-го и 104-го элементов уникальным методом газовой хроматографии хлоридов <sup>/8,9,10/</sup>. Принципиальный характер результатов этих работ состоит в экспериментальном определении границы актинидной группы элементов. Несмотря на успех этих опытов, следует напомнить, что в данном случае химические опыты проводились для излучателей с уже известными свойствами распада, в то время как для элементов с  $Z < 101$  картина была обратной: химическое выделение элемента предшествовало изучению характеристик его распада. Это обстоятельство отражает одну из тенденций развития работ по синтезу трансфермиевых элементов, заключающуюся в том, что при переходе к все более тяжелым элементам задача изучения их свойств становится все в меньшей степени химической проблемой и все в большей степени сводится к исследованию свойств распада короткоживущих нуклидов с определенными  $Z$  и  $A$ . По всей вероятности, подробное изучение химических свойств элементов вблизи границы актинидной группы ( $Z = 102-105$ ) не сможет быть осуществлено. Практическое применение этих элементов является, видимо, также невозможным из-за короткого времени

жизни их и из-за отсутствия метода, позволявшего бы получать эти элементы хотя бы в микровесовых количествах.

Здесь мы, очевидно, зашли в такую область, когда природа сильно сопротивляется нашим попыткам проникнуть в ее тайны. Поэтому, с одной стороны, новые результаты даются ценой очень больших усилий, а с другой — эти результаты не имеют практических приложений. В то же время, если более далекие трансурановые элементы являются сравнительно долгоживущими, то их изучение имеет огромное научное и практическое значение. Поэтому неудивительно, что вопрос о возможности существования нового острова ядерной стабильности привлекает сейчас интерес большого числа специалистов во всем мире.

## II. Физические основания гипотезы о существовании стабильных сверхтяжелых элементов

Если вспомнить о периодичности изменения свойств ядер с изменением числа протонов ( $Z$ ) и нейтронов ( $N$ ) в ядрах, то покажется небесмысленной сама постановка вопроса о существовании нового острова ядерной стабильности в районе высоких значений  $Z$  и  $N$ . Можно высказать качественные соображения о том, что при возрастании числа протонов и нейтронов роль оболочечных эффектов в ядрах, вообще говоря, может ослабляться ввиду повышения плотности одночастичных состояний вблизи границы Ферми. Кроме того, увеличение числа протонов в ядрах при  $Z > 100$  должно приводить к катастрофическому ослаблению стабильности ядер по отношению к спонтанному делению и  $\alpha$ -распаду из-за возрастания сил кулоновского отталкивания в ядрах. Однако эти качественные соображения не помогают внести ясность в вопрос о ста-

бильности тяжелых магических ядер, требуется количественное рассмотрение данного вопроса. Такой анализ проводился в последние годы теоретиками многих стран и дал обнадеживающие результаты. Ранние работы /1,12,13/ были посвящены определению новых протонных и нейтронных магических чисел. В дальнейшем стало ясно, что знания этих чисел совершенно недостаточно для решения вопроса о стабильности ядер с тем или иным числом нуклонов. Требовался расчет масс ядер и их энергий деформации. Первые расчеты масс ядер в гипотетической области вплоть до  $Z = 140$  и  $N = 210$  были сделаны Майерсом и Святецким /14/. Уже из этих данных можно было получить некоторые выводы о повышенной стабильности ядер с  $N = 184$  и  $Z$  вблизи 126. Однако точный расчет барьеров деления тяжелых нуклидов стал возможным только после разработки Струтинским метода учета оболочечной поправки /15,16/ для вычисления потенциальной энергии ядер в зависимости от их деформации. С помощью этого метода в работах /17,18,19,20/ были вычислены барьеры деления и массы ядер трансурановых элементов в широком диапазоне изменения  $Z$  и  $N$  при использовании различных наборов параметров, существенных для расчетов.

Вычисленные значения масс ядер позволяют определить энергию  $\alpha$ -распада и с применением феноменологических формул - периоды  $\alpha$ -распада этих нуклидов /20/. На основе рассчитанных барьеров деления возможно также оценивать периоды полураспада сверхтяжелых ядер относительно спонтанного деления.

Аналогичные вычисления были проделаны и в США интернациональной группой физиков /21,22,23/. В настоящее время с развитием теории расширяются возможности расчета потенциальной энергии ядер в зависимости от деформаций различного типа при широком изменении величин параметров деформации вплоть до очень высоких значений /24-26/.

Все без исключения расчеты, имеющиеся на сегодняшний день, дают принципиально один и тот же результат, не зависящий от выбора параметров расчета: предсказывается существование острова повышенной стабильности нуклидов более тяжелых, чем все, известные в настоящее время. Различные расчеты дают, однако, существенные расхождения в определении границ области стабильности и ее центра тяжести. Абсолютная точность оценки времен жизни ядер из новой области стабильности очень невысока, возможны ошибки в сотни тысяч раз. Качественное улучшение теории по линии ее уточнения сейчас, видимо, невозможно. Резюмируя, следует отметить, что теория в настоящее время не способна дать точный ответ на вопрос, какой изотоп какого элемента должен быть наиболее стабильным и каково будет его время жизни. Те, кто пытаются извлечь такую информацию, совершают незаконную операцию. Принципиальное предсказание теории о наличии нового острова стабильности ядер с, возможно, очень большими временами жизни является значительным достижением теории, однако ее количественным результатам не следует придавать абсолютного значения.

Только экспериментальные исследования позволят получить надежную количественную информацию о стабильности сверхтяжелых элементов. Как уже говорилось выше, теория не запрещает возможности очень высокого времени жизни этих элементов, сравнимого даже с возрастом Солнечной системы.

Если существует какой-либо изотоп сверхтяжелого элемента с временем жизни  $> 10^8$  лет, то он должен сохраниться в земле до настоящего времени, хотя бы в очень малых количествах. Если время жизни нуклида заключено в интервале  $10^5 < t_{1/2} < 10^8$  лет, то ядра этого нуклида могут входить в состав космических лучей, так как активные зоны Вселенной расположены от Солнечной системы на расстояниях  $> 10^5$  све-

товых лет. В этом случае очень малые количества данного элемента можно искать и на Земле из-за постоянного поступления этих ядер из космоса, компенсирующего их радиоактивный распад. Должно установиться определенное равновесие поступления и распада данного нуклида. И, наконец, при времени жизни меньше  $10^5$  лет можно рассчитывать только на искусственный синтез нового элемента в лабораторных условиях. Эти соображения иллюстрируются рис. 1.

В вышеизложенном рассмотрении молчаливо предполагалось, что ядра из новой области стабильности могут быть образованы в процессе звездного нуклеосинтеза. Согласно современным представлениям трансурановые элементы синтезируются в результате быстрого последовательного захвата нейтронов ядрами легких элементов при вспышках сверхновых звезд (так называемый  $r$ -процесс). Могут ли быть образованы ядра с  $A > 280$  в  $r$ -процессе? Дать определенный ответ на этот вопрос, по нашему мнению, сейчас затруднительно. Расчет  $r$ -процесса требует знания энергий связи нейтронов, барьеров деления и периодов спонтанного деления для ядер, обладающих очень большим избытком нейтронов при  $Z > 92$ . Точных сведений подобного рода мы сейчас не имеем, более того, ряд физиков высказывает мнение (например, автор <sup>/27/</sup>), что вообще наши представления о ядерной стабильности нейтронообогащенных нуклидов неправильны и энергия связи нейтронов обращается в 0 лишь для ядер с гораздо большим избытком нейтронов, чем это следует из полуэмпирических формул масс ядер. Однако для примера можно сказать, что в работах <sup>/28,29/</sup> был проделан расчет  $r$ -процесса в определенных предположениях о свойствах тяжелых ядер и получен результат, что  $r$ -процесс обрывается в районе  $A = 270-275$  из-за большой вероятности вынужденного деления ядер в этой области масс. Имеются

и более оптимистические результаты расчетов <sup>/30/</sup>. Считать результат какого-либо из этих расчетов окончательным, вероятно, нет оснований. Кроме того, даже если  $r$ -процесс не приводит к образованию сверхтяжелых ядер, то могут осуществляться, видимо, некоторые иные пути их звездного синтеза. Одну из интересных возможностей синтеза сверхтяжелых элементов в пульсарах рассматривают сейчас итальянские физики <sup>/31/</sup>. Не следует, однако, забывать, что количество и распространенность во Вселенной этих ядер существенно зависят от типа и деталей процесса, ответственного за их образование.

### III . Попытки экспериментального обнаружения сверхтяжелых элементов

Касаясь истории этого вопроса, необходимо отметить, что еще в ранних работах по изучению естественной радиоактивности природных материалов наблюдались некоторые факты, недостаточно поняты вплоть до сегодняшнего дня. Проф. Шинтельмейстер в течение длительного времени занимался исследованием природных  $\alpha$ -излучателей <sup>/32/</sup> и наблюдал аномальные энергии  $\alpha$ -частиц, а также необычные химические свойства этих излучателей (в некоторых случаях подобные свойства осмия), однако точно идентифицировать эти радиоактивности ему не удалось. Недавно нам стало известно, что Ирен Кюри в последние годы своей жизни также проводила работу по изучению "странных"  $\alpha$ -радиоактивностей, которые трудно было связать с известными природными  $\alpha$ -излучателями. Аналогичные результаты дали эксперименты доктора Джентри, занимающегося исследованием плехроических колец в природных слюдах, возникающих вокруг вкраплений  $\alpha$ -радиоактивных эле-

ментов в образцах /33/. Наконец, проф. Чердынцев многие годы изучал необычные химические свойства природного  $\alpha$ -излучателя с  $E_\alpha = 4,75$  Мэв и пришел к выводу, что эта сравнительно редкая радиоактивность также обнаруживает химические свойства, сходные со свойствами осмия /34/.

Если вернуться к сегодняшним дням, то наиболее возбуждающим было сообщение проф. Фаулера о наблюдении в составе первичных космических лучей очень тяжелых ядер /35/. В этих опытах большие площади фотоэмульсий поднимались на значительную высоту с помощью воздушных шаров. При просмотре проявленных фотоэмульсий встречались отдельные треки с очень высокой плотностью ионизации, по оценке авторов эти треки принадлежали ядрам с  $Z > 100$ . В дальнейшем были высказаны сомнения, достаточна ли точность определения  $Z$ -частицы по плотности трека, оставляемого ею в фотоэмульсии. Используя пластиковые детекторы для регистрации тяжелых ядер в составе космических лучей, Флейшер и Прайс /36/ пришли к выводу, что ядра с  $Z > 92$  зарегистрировать не удастся. Необходимы, по-видимому, дальнейшие эксперименты в этом направлении. Если результат проф. Фаулера подтвердится, то это будет означать, что долгоживущие сверхтяжелые ядра из новой области стабильности ( $\tau_{1/2} > 10^5$  лет) существуют и что они синтезируются в глубинах космоса.

Заслуживают внимания имеющиеся сведения об избытке радиогенного ксенона и необычности его изотопного состава в ряде метеоритов по сравнению с тем количеством  $Xe$ , которое должно было бы получаться в результате спонтанного деления  $^{238}U$ , содержащегося в метеоритах /37/. Эти факты могут быть связаны с наличием в составе метеоритов, кроме  $^{238}U$ , какого-либо другого спонтанно делящегося излучателя, возможно, к настоящему времени уже полностью распавшегося, но оставившего после себя избыток ядер  $Xe$ . Прайсом и Флей-

шером была недавно выполнена работа /38/ по измерению длины следов осколков деления, зарегистрированных в кварце, находившемся в составе тех метеоритов, которые давали аномалии в содержании  $Xe$ . Не наблюдалось существенного отличия длины этих треков от длины следов осколков вынужденного деления ядер урана и от расчетных значений для спонтанного деления  $^{244}Pu$  ( $\tau_{1/2}^\alpha = 7,5 \cdot 10^7$  лет,  $\tau_{1/2}^{s.f.} = 2,5 \cdot 10^{10}$  лет). На этом основании сделан вывод, что именно с присутствием  $^{244}Pu$  в начальном составе метеоритов связан наблюдающийся избыток радиогенного  $Xe$ . Нам кажется, что этот вывод не следует с необходимостью из экспериментальных фактов, так как длина следов осколков спонтанного деления сверхтяжелого элемента ( $Z > 100$ ) может также оказаться очень близкой к тому, что наблюдается для деления урана. Здесь следует напомнить, что совершенно неясен вопрос о массовом распределении осколков спонтанного деления сверхтяжелых элементов и о балансе энергии в этом процессе.

В США в последнее время была сделана попытка обнаружения сверхтяжелых элементов в различных образцах, содержащих платину и золото. Выбор этих элементов был обусловлен следующими причинами:

1. На основе опытов по химии курчатовия является весьма вероятным предположение о том, что элементы с  $105 < Z < 115$  будут по своим химическим свойствам аналогами элементов от тантала до висмута.
2. Расчеты С.Г. Нильссона и др. /21/ предсказывают наибольшее время жизни для элемента с  $Z = 110$ , который согласно первому предположению является аналогом платины. Сконцентрировав усилия на изучении платиносодержащих материалов, несколько групп американских ученых пытались обнаружить 110-й элемент с помощью широкого спектра методов: по осколкам и нейтронам спонтанного деления, по  $\alpha$ - и  $\gamma$ -излучению ядер экаплатины. Проводились также рентгеновский флуоресцентный, масс-спектрометрический и активационный анализы платиновых об-



разцов. Эти опыты кратко описаны в работах /39,40/. Была сделана попытка наблюдения вынужденного деления экаплатины под действием тепловых нейтронов /41/. Во всех этих экспериментах получен отрицательный результат; дается лишь верхняя граница содержания гипотетической экаплатины в образцах ( $< 10^{-10}$  г/г). Применение целого ряда различных способов для поиска экаплатины делает достаточно надежным полученный отрицательный результат, однако, как нам кажется, чувствительность опытов по поиску гипотетических сверхтяжелых элементов может быть значительно повышена по сравнению с экспериментами, выполненными в США. Метод обнаружения сверхтяжелых элементов по спонтанному делению, вероятно, занимает особое место. Чувствительность его очень высока; использование больших пропорциональных счетчиков, а в последние годы и диэлектрических детекторов осколков деления дает возможность обнаруживать спонтанное деление элементов с очень большим временем жизни до ( $10^{21}$ – $10^{22}$ ) лет, либо очень малые концентрации более короткоживущих спонтанно делящихся излучателей. Если какой-нибудь из них имеет время жизни относительно спонтанного деления -  $10^8$  лет, то он может быть обнаружен в веществе при концентрации до  $10^{-14}$  г/г. Большим преимуществом этого метода является также ограниченное число источников фона в опытах по спонтанному делению; для природных материалов источником фона может служить лишь спонтанное деление  $^{238}\text{U}$ , вынужденное деление ядер урана и тория нейтронами и деление ядер тяжелых элементов (Bi, Pb, ...) космическими лучами.

Кроме высокой чувствительности и, как правило, низкого фона, этот метод хорош также и тем, что радиоактивный распад сверхтяжелых элементов практически неизбежно должен заканчиваться спонтанным делением (спонтанно делится либо исходный долгоживущий элемент, либо его дочерние продукты после одного или нескольких  $\alpha$ -распадов).

По этим причинам мы в Дубне в качестве основного пути поиска сверхтяжелых элементов выбрали метод регистрации актов спонтанного деления этих элементов. Так как мы понимали, что современная теория неспособна точно предсказать  $Z$  наиболее долгоживущего сверхтяжелого нуклида, то мы не ограничивались изучением образцов, содержащих один какой-либо элемент. Проверке были подвергнуты материалы, содержащие висмут, свинец, таллий, ртуть, вольфрам. Кроме того, образцы часто были сложного химического состава и состояли из многих компонент. Больше всего было изучено различных материалов, содержащих свинец. Учитывая, что химические свойства свинца не настолько избирательны, как, например, свойства платины, можно понять факт присутствия в исследованных образцах большого числа различных микропримесей. Первый наш эксперимент /42/ состоял в следующем: свинцовая фольга площадью  $10^4$  см<sup>2</sup> в контакте с майларовой пленкой, практически не имеющей дефектов, была помещена на 100-дневную экспозицию под землю на глубину 40 м для защиты от космических лучей. После просмотра пленки было найдено 7 следов осколков деления. При просмотре в два раза большей площади такой же пленки, не находившейся в контакте со свинцом, было зарегистрировано лишь два трека. Содержание урана в майларе и свинцовой фольге находилось на уровне  $10^{-10}$  г/г и никак не могло быть причиной наблюдаемого эффекта. Полученный результат достаточно надежен, однако абсолютное число зарегистрированных случаев очень мало.

Для увеличения статистической точности опытов были исследованы старые (возраст несколько сотен или десятков лет) свинцовые, вольфрамовые и содержащие таллий и висмут стекла, зеркала, обломки витража и т.д. Во всех этих случаях в стекле в течение длительного времени накапливались треки осколков спонтанного деления тех излучателей,

которые входили в состав стекла или соприкасающихся с ним веществ (ртутная амальгама в случае зеркал, свинцовая рама витража и т.д.). В некоторых из этих образцов было обнаружено большое число следов осколков деления, которое никак не могло быть объяснено присутствием урана в исследуемом материале. Содержание урана в веществах определялось с очень высокой точностью путем облучения образцов медленными нейтронами на реакторе. Кроме спонтанного деления урана, возможным фоном могло явиться деление свинца космическими лучами. Прямые экспериментальные данные о вероятности деления ядер свинца космическими лучами на уровне моря в настоящее время отсутствуют. Однако тот факт, что многие свинцовые стекла не дают эффекта, доказывает незначительность фона. Эти опыты описаны в работах /42,43/. Результаты изучения образцов, содержащих свинец, приведены в табл. 1 /43/.

В некоторых образцах обнаружен очень высокий уровень эффекта, например, в одном из стекол, изготовленном 30 лет тому назад, зарегистрировано 100 треков осколков деления при фоне от урана 2 трека. В образцах, содержащих другие элементы (Bi, Pb, Hg, W), не обнаружено большого числа треков от осколков спонтанного деления, однако это может быть связано и со случайными причинами, так как число исследованных образцов в этом случае было не очень велико. Некоторые из исследованных образцов стекол показаны на рис. 2.

К табл. 1 необходимо дать одно пояснение: период полураспада спонтанно делящегося излучателя, осколки деления которого регистрируются стеклами, нам не известен, поэтому рассчитать концентрацию этого излучателя в материале невозможно. В связи с этим наблюдающийся эффект был отнесен к числу ядер свинца в рассмотренном объеме образца и вычислена величина кажущегося периода полураспада свинца по отно-

шению к спонтанному делению. Эта величина имела бы физический смысл если бы действительно свинец испытывал спонтанное деление. Так как это нереально, то приведенная величина кажущегося периода полураспада свинца есть не что иное, как  $T = \frac{\tau_{1/2} n_{Pb}}{n_{с.д.и.}}$ , где  $\tau_{1/2}$  - неизвестный нам период полураспада спонтанно делящегося излучателя,  $n_{с.д.и.}$  - число ядер этого излучателя в образце,  $n_{Pb}$  - число ядер Pb в образце. То есть T обратно пропорционально концентрации спонтанно делящегося излучателя и скорости его распада  $\lambda$ . Если  $\tau_{1/2} = 10^8$  лет, то в образце с минимальным значением  $T = 10^{20}$  лет содержится 1 атом спонтанно делящегося нуклида на  $10^{12}$  атомов свинца, в образцах с большими значениями T этих ядер еще меньше.

Все стекла, перечисленные в табл. 1, содержали большое количество свинца (от 10 до 50% по весу), но далеко не все из них обнаруживают эффект спонтанного деления. Следовательно, отсутствует какая-либо корреляция между содержанием свинца и спонтанно делящегося излучателя в образцах. Этот факт означает, что либо спонтанно делящийся излучатель, будучи экасвинцом, тем не менее сильно отличается от свинца по своим химическим свойствам, либо данный излучатель вообще не принадлежит к IV-ой группе периодической системы Менделеева и присутствует в образцах, содержащих свинец, по случайным причинам, имея в качестве носителя какой-либо другой элемент, входящий в состав стекол даже, может быть, в малом количестве.

После обнаружения эффекта спонтанного деления в стеклах мы развили методику регистрации осколков спонтанного деления с помощью больших пропорциональных счетчиков (длиной 200 см и диаметром 26 см (см. рис. 3)). Внутренняя поверхность счетчиков могла быть покрыта слоем исследуемого вещества толщиной (2,5-3,0) мг/см<sup>2</sup> общим весом около 50 г. В счетчики помещались слои материала стекол, в которых были обнаружены треки осколков спонтанного деления, и были зарегист-

рированы большие импульсы осколков деления, число которых совпадает с расчетом на основе известной объемной плотности треков, накопленных в стеклах за время их существования. Таким образом, факт присутствия в материале стекол неизвестного, спонтанно делящегося излучателя был подтвержден с помощью независимой экспериментальной методики /44/. Статистическая точность опыта невелика, однако отношение эффекта к фону является удовлетворительным (около 10). Фоновый опыт был сделан путем помещения в счетчики 35 г электромагнитно разделенного изотопа  $^{208}\text{Pb}$ , который не мог содержать примесей элементов с другим атомным весом, но мог делиться космическими лучами так же, как и ядра свинца, входящие в состав исследованных стекол. В фоновом эксперименте было зарегистрировано лишь 2 импульса за 1344 часа измерений. Фон от спонтанного деления урана был пренебрежимо мал. Как уже говорилось, концентрация урана в веществах точно определялась с помощью нейтронных облучений, кроме того, эти данные контролировались по  $\alpha$ -активности, измеряемой пропорциональным счетчиком в процессе работы. Более подробно эти эксперименты описаны в работе /44/.

В число изучаемых нами образцов мы включили по предложению академика А.П. Виноградова и железо-марганцевые конкреции - удивительнейшие образования, добываемые со дна океанов (см. рис. 4). Эти небольшие округлые предметы темно-коричневого цвета имеют возраст около миллиона лет и состоят главным образом из окислов железа и марганца и других металлов, которые извлекаются конкрецией из окружающей воды. В конкрециях концентрация некоторых элементов (Pb, Ti, Hg, W, ...) в миллионы раз больше, чем в воде океана. Таким образом, здесь осуществляется естественный процесс избирательного извлечения ряда элементов из окружающей среды. Есть основания думать, что и сверхтяжелые элементы будут содержаться в материале конкреций в го-

раздо большем количестве на единицу веса, чем в воде океана. В процессе работы с железо-марганцевыми конкрециями было обнаружено, что в некоторых из них содержатся небольшие кусочки полевого шпата, который является так же, как и стекла, детектором осколков деления. После соответствующей обработки оказалось, что на поверхности полевого шпата имеется очень высокая плотность треков осколков деления. В объеме полевого шпата плотность треков значительно ниже, чем на поверхности. Это означает, что спонтанно делящийся излучатель, ответственный за треки на поверхности полевого шпата, содержится в веществе конкреции. Верхняя граница возраста конкреции была определена на плотности треков спонтанного деления урана в объеме полевого шпата. Знание возраста конкреции и определение концентрации урана в ее материале позволили вычислить вклад спонтанного деления урана в то число треков осколков деления, которое наблюдается на поверхности полевого шпата. Оказалось, что спонтанное деление урана объясняет менее пятнадцати процентов наблюдаемого эффекта. На основе этого можно высказать предположение, что в материале конкреции содержится, кроме урана, какой-то другой спонтанно делящийся излучатель /45/.

Подводя итог вышеописанных опытов, необходимо сказать, что у нас нет никаких сомнений в существовании долгоживущего природного спонтанно делящегося излучателя, не являющегося ни одним из известных спонтанно делящихся ядер. Можно предположить, что данный излучатель является либо изотопом сверхтяжелого элемента из новой области стабильности, либо долгоживущим спонтанно делящимся состоянием одного из известных тяжелых нуклидов.

#### IV. О химических и геохимических аспектах поисков сверхтяжелых элементов

Необходимо сказать несколько слов о химических и геохимических аспектах поисков сверхтяжелых трансурановых элементов. Когда экспериментатор в каком-либо образце обнаруживает слабую недостаточно точно идентифицированную радиоактивность, естественным является его желание выделить эту радиоактивность с помощью химических операций или хотя бы обогатить вещество данным элементом. Такое желание есть и у нас по отношению к наблюдаемому нами эффекту спонтанного деления в некоторых веществах. Однако осуществить химическое выделение неизвестного элемента чрезвычайно трудно по ряду причин. Во-первых, как указывалось выше, мы сейчас не можем на основе существующей теории указать с определенностью  $Z$  наиболее долгоживущего сверхтяжелого элемента. Во-вторых, даже если  $Z$  элемента известно, то расчет структуры электронных оболочек атома этого элемента не может быть выполнен достаточно точно. Следует учитывать, что основные свойства атома будут определяться конфигурацией внешней электронной оболочки его, а для внешних слабо связанных электронов столь тяжелого атома электронные орбиты с различными квантовыми числами имеют очень близкие энергии. Поэтому однозначно решить вопрос о порядке заполнения электронных оболочек при столь высоких  $Z$  довольно трудно, так как любой, даже самый точный расчет может не учитывать каких-либо деталей, в данном случае существенных. Наконец, даже если вы точно знаете конфигурацию электронных оболочек атома, вы все же не можете считать задачу решенной, так как ряд важнейших химических и термодинамических свойств элемента далеко не однозначно определяется структурой внешней электронной оболочки атома.

В связи с перечисленными трудностями для предсказания химических свойств сверхтяжелых элементов остается лишь самый простой спо-

соб, использующий известные правила периодичности свойств элементов обобщенные Менделеевым. Основываясь на экспериментально определенной границе группы актиноидов и том факте, что курчатовий является аналогом гафния, можно предположить, как уже говорилось, что элементы с  $Z = 105-114$  будут аналогами элементов от тантала до свинца. По терминологии Менделеева 114-й элемент в этом предположении можно назвать экасвинцом, 110-й экаплатиной и т.п. На основе известного правила диагоналей ясно, что экасвинец, например, будет походить по своим химическим свойствам не только на свинец, но и в какой-то мере на соседа свинца слева - на таллий. Подобные соображения можно выдвигать и относительно других сверхтяжелых элементов, однако они настолько неопределенны, что конкретных рекомендаций по выделению этих элементов из очень сложных по составу материалов и геологических образований дать невозможно.

Очень трудно ответить и на вопрос о том, в каких породах и каких месторождениях следует ожидать максимального содержания тех или иных сверхтяжелых элементов. Даже содержание хорошо изученных элементов в различных геологических образованиях в ряде случаев не подчиняется установленным закономерностям.

Можно высказать, однако, утверждение, что, если сверхтяжелый элемент живет меньше  $10^8$  лет и имеется на Земле лишь благодаря поступлению его атомов из космоса, то его следует искать в породах осадочного происхождения, в материковых и океанических водах и в высокогорных и антарктических ледниках. Очень удобны в этом случае для поисков сверхтяжелых элементов железо-марганцевые конкреции, о которых уже говорилось выше.

Если сверхтяжелый элемент имеет время жизни  $> 10^8$  лет, то он может встречаться как в основных, так и в осадочных породах. Химия этого элемента будет определять его содержание в тех или иных геоло-

гических образованиях. В наших опытах с помощью пропорциональных счетчиков мы проверили большое количество самых различных минералов и ни в одном из них не обнаружили высокого уровня содержания спонтанно делящегося излучателя, значительно превышавшего бы уровень эффекта спонтанного деления, который мы наблюдали в стеклах. Отсюда можно сделать вывод о малой распространенности сверхтяжелых элементов в природе, что может быть связано либо с их радиоактивным распадом (если время жизни  $10^8$  лет  $< t_{1/2} < 10^9$  лет), либо с особенностями процессов звездного нуклеосинтеза этих элементов.

#### V. Некоторые перспективы развития работ по поиску далеких трансурановых элементов

Поскольку нам удалось обнаружить в некоторых веществах присутствие неизвестного спонтанно делящегося излучателя, то естественно для нас связывать перспективы развития работ по поиску далеких трансурановых элементов с дальнейшим изучением этого излучателя с целью определения его  $Z$  и  $A$ .

Наиболее прямым способом определения массового числа излучателя является масс-спектрометрический анализ состава тех веществ, в которых зарегистрирован эффект спонтанного деления, не могущий быть объясненным содержанием урана в этих образцах. Применяя сверхчувствительные измерители тока, способные регистрировать потоки заряженных частиц интенсивностью  $10^{-17}$  а, можно пытаться обнаружить с помощью масс-спектрометра ионы с массой  $> 280$ . Однако при такой постановке опыта результат может быть неопределенным из-за различных фоновых потоков ионов в масс-спектрометре, попадающих в тот район фокальной плоскости спектрометра, куда должны приходиться ионы с массой  $> 280$ . Источниками таких фонов могут быть: рассеяние ионов обыч-

ных элементов ( $A < 238$ ) на остаточном газе и стенках масс-спектрометра, наличие сложных молекулярных ионов с массой  $> 280$ , образование ионов вторичного происхождения при взаимодействии интенсивных пучков ионов с атомами остаточного газа.

Имеется другой, более благоприятный способ постановки эксперимента, основанный на предположении, что ядра сверхтяжелых элементов должны иметь высокое сечение деления нейтронами. В этом случае весовое количество материала, содержащего спонтанно делящийся излучатель, подвергается разделению с помощью масс-сепаратора. Сборник, располагаемый в той части фокальной плоскости, куда должны попадать ионы с массой  $> 280$ , после окончания деления облучается интенсивным потоком нейтронов в контакте с диэлектрическим детектором осколков деления. Факт наличия следов осколков деления на детекторе свидетельствует о присутствии в сборнике элемента, делящегося нейтронами, а координаты того места на сборнике, около которого группируются треки осколков деления, дают массовое число делящегося элемента. Подобный способ постановки опыта обсуждался в докладе М. Израэля /46/. Чувствительность этого метода может быть очень высокой, однако имеет несколько ограничений: 1) материал сборника и детектора осколков деления должен содержать очень малое количество урана и тория, иначе деление нейтронами ядер этих элементов создаст высокий фон; 2) при разделении в масс-сепараторе необходимо создать условия для того, чтобы атомарные и молекулярные ионы урана и тория, выходящие из источника, не попадали на сборник в районе масс  $A > 280$ ; 3) интегральный поток нейтронов в облучении ограничен эффектом радиационного повреждения детектора осколков деления. Для различных материалов предельно допустимый поток нейтронов зависит не только от типа материала, но и от спектра используемых нейтронов. Пластиковые детекторы наименее устойчивы к повреждающему действию нейтронного потока. Ис-

пользование очень чистого потока тепловых нейтронов позволяет поднять предельно допустимый интегральный поток нейтронов до  $10^{17-18}$   $1/\text{см}^2$  даже для пластиковых детекторов. Однако интересующий нас далекий трансурановый элемент может не делиться тепловыми нейтронами или иметь очень малое сечение деления. Поэтому необходимо рассчитывать на облучение быстрыми нейтронами. Для оценки чувствительности описанного метода необходимо сделать ряд предположений. Если сечение деления нейтронами далекого трансуранового элемента равно 1 барну, то при разделении в масс-сепараторе 10 г вещества с эффективностью 10% и облучении сборника интегральным потоком  $10^{17}$   $1/\text{см}^2$  можно обнаружить концентрацию этого элемента в веществе  $5 \cdot 10^{-14}$  г/г. При этом материалы сборника и диэлектрического детектора должны содержать не более  $10^{-12}$  г/г естественного урана в случае использования тепловых нейтронов и не более  $5 \cdot 10^{-12}$  г/г урана и тория при работе с 2-3 Мэв нейтронами. Цифры по чистоте материалов являются ориентировочными, они существенно зависят от разрешающей способности масс-сепаратора и других деталей эксперимента.

Как нам недавно стало известно <sup>/47/</sup>, группа, работающая в Лаборатории профессора Вернаса во Франции, проделала подобные опыты, подвергнув разделению на масс-сепараторе образцы галенита и золотосодержащих материалов. Наблюдалось значительное количество треков осколков деления в детекторе после облучения нейтронами, однако они, по видимому, являются фоновыми и связаны с недостаточной чистотой материалов от урана. При данных условиях возможно было бы получить сведения о присутствии сверхтяжелого элемента в сборнике, если предполагать, что этот элемент главным образом делится на три или четыре осколка сравнимой массы. Однако, как нам кажется, это предположение очень мало обосновано и подобные опыты следует развивать по линии повышения чистоты материалов и снижения фонов.

Эксперименты с разделением материалов на масс-сепараторе возможно проводить и ориентируясь на обнаружение сверхтяжелых элементов по осколкам спонтанного деления, однако чувствительность метода в этом случае понижается. Для этого необходима либо более высокая концентрация сверхтяжелого элемента в исследуемом материале, либо большие количества вещества ( $\approx 1000$  г), подвергаемого сепарации. Однако требования к чистоте сборника и детектора от урана в этом случае становятся значительно менее жесткими.

Другая реальная возможность получения сведений о  $Z$  спонтанно делящегося излучателя заключается в измерении среднего числа нейтронов, возникающих в акте деления этого излучателя. Как известно, число  $\bar{\nu}$  резко возрастает с ростом  $Z$  спонтанно делящегося ядра, для  $^{235}\text{U}$   $\bar{\nu} = 2,0$ , а для  $^{252}\text{Cf}$   $\bar{\nu} = 3,8$ . Никсом <sup>/48/</sup> был проделан экстраполяционный расчет числа нейтронов, испускаемых в акте спонтанного деления сверхтяжелых элементов из новой области стабильности. Получены высокие значения числа  $\bar{\nu}$ , так, например, для спонтанного деления ядра  $^{298}\text{114}$  предсказывается число  $\bar{\nu} = 10,5$ . Количественная точность подобных экстраполяций нам кажется очень низкой, в частности, в расчете Никса сделан ряд предположений, которые могут не соответствовать действительности. Выше уже указывалось, что сейчас совершенно неясен вопрос о массовом распределении осколков спонтанного деления сверхтяжелых элементов, а следовательно, является невозможным вычисление энерговыделения в элементарном акте деления и кинетической энергии осколков. Несмотря на это, тенденция увеличения числа  $\bar{\nu}$  с ростом  $Z$  делящегося ядра качественно должна быть применима и к сверхтяжелым элементам, т.е. для сверхтяжелых элементов  $\bar{\nu}$  должно быть больше, чем 4-5, но совсем не обязательно 10,5, как указывается Никсом для  $^{298}\text{114}$ .

Если говорить об экспериментальных возможностях, то постановка опытов по измерению числа  $\bar{\nu}$  для спонтанно делящегося излучателя, о котором шла речь выше, вполне осуществима. Обеспечив геометрию счета нейтронов, близкую к  $4\pi$ , с помощью большого числа счетчиков можно добиться эффективности регистрации акта спонтанного деления, близкой к единице. Чувствительность опыта в данном случае может быть значительно более высокой, чем в экспериментах по регистрации осколков деления с помощью пропорциональных счетчиков, так как в установку, регистрирующую нейтроны, можно загружать большое количество исследуемого вещества (десятки килограмм).

Если эффективность установки достаточно высока, то с определенной вероятностью каждый акт спонтанного деления будет отмечаться одновременной регистрацией двух или большего числа нейтронов. Число  $\bar{\nu}$  может быть легко определено из экспериментально измеряемого отношения вероятности регистрации одновременно двух, трех и т.д. нейтронов.

При проведении подобных опытов наиболее сложной задачей является подавление фонов. Особенно опасен фон от космических лучей. Энергичные частицы при взаимодействии с ядрами вещества могут в одном столкновении произвести большое количество частиц, в том числе и нейтронов. Подобные акты множественного рождения нейтронов космическими частицами будут имитировать в этой установке случаи спонтанного деления ядер.

Представляется несомненным, что несмотря на перечисленные трудности будут осуществлены и опыты по измерению числа  $\bar{\nu}$  для обнаруженного нами природного спонтанно делящегося излучателя и эксперименты по определению массового числа этого излучателя с помощью электромагнитного сепаратора. Результаты этих опытов, вероятно, внесут ясность в вопрос о природе этого излучателя. Если будет доказано,

что данный излучатель в действительности есть изотоп сверхтяжелого элемента, то откроются великолепные перспективы дальнейшего развития ядерной физики и химии. Изучение элементов из новой области стабильности даст возможность существенно расширить границы Периодической системы элементов и проверить справедливость Периодического закона Менделеева для нового, восьмого периода. Кроме того, обнаружение сверхтяжелых элементов будет означать, что они синтезируются в космических объектах, а этот факт является важным для понимания процессов, происходящих в звездах и звездных образованиях.

И все же в заключение следует подчеркнуть, что задача экспериментального наблюдения сверхтяжелых элементов в природе является чрезвычайно сложной проблемой. Это заставляет нас с максимальной требовательностью относиться к постановке экспериментов и интерпретации их результатов.

#### Л и т е р а т у р а

1. Д.И. Менделеев. Основы химии. Госхимиздат, М., Л., 1947.
2. G.T. Seaborg. Annual Review of Nuclear Science, 18, 53 (1968).
3. Г.Н. Флеров и др. Труды Международной конференции по физике тяжелых ионов, вып. 2, стр. 3, Дубна, 1966.
4. E.D. Donets, V.A. Druin, V.L. Mikheev. Ann.Phys., 3, 5, 331 (1968).
5. Г.Н. Флеров и др. АЭ, 17, 310 (1964).
6. Ю.Ц. Оганесян и др. Препринт ОИЯИ, P7-4797, Дубна, 1969.
7. Г.Н. Флеров и др. Препринт ОИЯИ, P7-3808, Дубна, 1968.
8. И. Звара и др. АЭ, 21, 83 (1966);  
И. Звара и др. Препринт ОИЯИ, P7-3783, Дубна, 1968.
9. Yu.T. Chuburkov et al. J. Inorg.Nucl.Chem., 31, 3113 (1969).

10. Ю.Т. Чубурков и др. Радиохимия, 9, 637 (1967).
11. F.A. Gareev, B.N. Kalinkin, A. Sobiczewski. Phys.Letters, 22, 500 (1966).
12. В.А. Чепурнов. ЯФ, 6, 955 (1967).
13. H. Meldner. Proc. of Lysekil Symp. Nuclides Far off the Stability Line, p.593, Sweden (1966).
14. N.D. Myers, W.J. Swiatecki. Nucl.Phys., 81, 1 (1966).
15. V.M. Strutinski. Nucl.Physics, A95, 420 (1967).
16. V.M. Strutinski. Nucl.Phys., A122, 1 (1968).
17. В.М. Струтинский, Ю.А. Музычка. Доклад на Международной конференции по физике тяжелых ионов. Дубна, октябрь 1966. Труды конференции, вып. 2.
18. Yu.A. Musychka. Phys.Letters, 28B, 539 (1969);  
Ю.А. Музычка. Препринт ОИЯИ, P7-4133, Дубна, 1968.
19. Ю.А. Музычка, В.В. Пашкевич, В.М. Струтинский. ЯФ, 8, 716 (1968).
20. Ю.А. Музычка. Препринт ОИЯИ, P7-4435, Дубна, 1969.
21. S.G. Nilsson, J.R. Nix, A. Sobiczewski, Z. Szymanski, S. Wicech, C. Gustafson, P. Möller. Nucl.Phys., A115, 545 (1968).
22. C. Gustafson, I.L. Lamm, B. Nilsson, S.G. Nilsson. Proc. of the Lysekil Symp. Nuclides Far off the Stability Line, p.613, 1966;  
S.G. Nilsson, Chin Fu Tsang, A. Sobiczewski, Z. Szymanski, S. Wicech, C. Gustafson, I.L. Lamm, P. Möller, B. Nilsson. Nucl. Phys., A131, 1 (1969).
23. S.G. Nilsson. Preprint UCRL 18355.
24. Д.А. Арсеньев, Л.А. Малов, В.В. Пашкевич, В.Г. Соловьев. ЯФ, 8, 883 (1968);  
V.V. Pashkevich. Preprint, E4-4384, Dubna, 1969;  
В.В. Пашкевич. Сообщение ОИЯИ, P4-4383, Дубна, 1969.
25. H.C. Pauli, V.M. Strutinski, A.S. Yensen, C.Y. Wong. Report at Second Symposium IAEA on Physics and Chemistry of the Fission, SM-122/62 July 1969, Vienna.

26. M. Bolsterli, E.O. Fiset, J.R. Nix. Report at Second Symposium IAEA on Physics and Chemistry of the Fission SM-122/100, July 1969.
27. А.И. Базь. Доклад на XIX Всесоюзном совещании по ядерной спектроскопии и структуре ядра, Ереван, 1969.
28. E.M. Burbidge et al. Rev.Mod.Phys., 29, 547 (1957);  
F. Hoyle, W.A. Fowler. Astrophysical Journal, 132, 565 (1960)
29. V.E. Viola. Nucl.Phys., A139, 183 (1969).
30. Э.Е. Берлович. Сообщение на Сессии отделения ядерной физики АН СССР. Дубна, октябрь 1969.
31. G. Silvestro. Lettre el Nuovo Cimento, 11, 16, 771 (1969).
32. I. Schintelmeister. Unpublished report, Vienna, 1945, cited in the dissertation of G. Miller. Technische Universität, Dresden, 1963.
33. R.V. Gentry. Nature, 213, 5075, 427 (1967); Applied Phys.Lett, 8, 3, 65 (1966).
34. В.В. Чердынцев, В.Ф. Михайлов. Геохимия, №1 (1963);  
В.В. Чердынцев и др. Геохимия, №4, 395 (1968).
35. P.H. Fowler et al. Report at Xith Intern. Conf. on Cosmic Rays. Budapest, August 1969.
36. P.B. Price, R.L. Fleischer. Report at Intern. Conf. on Nucl. Track Registration in Insulating Solids. Clermont-Ferrand, France, May 1969.
37. E. Anders, D. Heymann. Science, 164, 3881, 821 (1969).
38. P.B. Price, R.L. Fleischer. Phys.Lett., 30B, 246 (1969).
39. S.G. Nilsson, S.G. Thompson, C.F. Tsang. Phys.Letters, 28B, 7, 458 (1969).
40. G.T. Seaborg. New Dimensions for the Periodic System. Remarks on the Occasion of the Celebration of the 100th Anniversary of the D.I. Mendeleev Periodic Table Leningrad USSR, September 1969.



41. J.J. Wesolowski, W.J. Jewell, F. Guy. Phys.Lett., 28B, 544 (1969).
42. Г.Н. Флеров, В.П. Перелыгин. АЭ, 26, 520 (1969).
43. Э. Цесляк. Сообщение ОИЯИ, P15-4738, Дубна, 1969.
44. Г.Н. Флеров, Н.К. Скобелев, Г.М. Тер-Акопян и др. Препринт ОИЯИ, Д6-4554, Дубна, 1969.
45. О. Отгонсурен, В.П. Перелыгин, Г.Н. Флеров. Препринт ОИЯИ, Д6-4649, Дубна, 1969.
46. M. Israel. Report at Vth Informal European Conference on the Interaction of High Energy Particles and Complex Nuclei.
47. Частное сообщение профессора Р. Бернаса. Институт физики ядра. Орсе, Франция.
48. J.R. Nix. Phys.Lett., 30B, 1 (1969 ).

Рукопись поступила в издательский отдел  
26 января 1970 года.

Таблица 1  
Результаты исследования старых свинцовых стекол  
на содержание в них неизвестного спонтанно делящегося излучателя

Номер образца	Возраст (лет)	Число треков	Объем (см <sup>3</sup> )	T (лет)	Число треков от урана
1	2	3	4	5	6
I	12	I	0,20	6.10 <sup>21</sup>	-
2	23	5	0,44	7.10 <sup>20</sup>	-
3	23	0	0,22	3.10 <sup>21</sup>	-
4	23	0	0,22	2.10 <sup>21</sup>	-
5	180	10	0,05	4.10 <sup>20</sup>	0,5
6	180	I	0,8	6.10 <sup>22</sup>	-
7	23	II	0,44	7.10 <sup>20</sup>	-
8	30	10	0,15	4.10 <sup>20</sup>	-
9	5	0	0,05	4.10 <sup>20</sup>	-
10	5	0	0,11	4.10 <sup>20</sup>	-
II	10	2	0,16	9.10 <sup>20</sup>	-
12	10	14	0,8	6.10 <sup>20</sup>	-
13	10	I	0,08	9.10 <sup>20</sup>	-
14	33	2	0,2	7.10 <sup>21</sup>	-
15	33	4	0,4	7.10 <sup>21</sup>	-
16	35	I	0,05	3.10 <sup>21</sup>	-
17	22	3	0,08	1.10 <sup>21</sup>	-
18	29	I	0,06	3.10 <sup>21</sup>	-
19	29	0	0,1	4.10 <sup>21</sup>	-
20	15	0	0,03	7.10 <sup>20</sup>	-
21	20	0	0,04	2.10 <sup>21</sup>	-
22	14	0	0,05	1.10 <sup>21</sup>	-
23	14	12	0,61	2.10 <sup>21</sup>	3
24	30	100	0,62	2,7.10 <sup>20</sup>	2
25	10	2	0,12	2.10 <sup>21</sup>	-
26	20	2	0,07	1.10 <sup>21</sup>	-

Продолжение таблицы I

I	2	3	4	5	6
27	20	3	0,09	$8 \cdot 10^{20}$	-
28	20	I	0,03	$1 \cdot 10^{21}$	-
29	20	2	0,06	$1 \cdot 10^{21}$	-
30	20	4	0,08	$7 \cdot 10^{20}$	-
31	I5	0	0,23	$3 \cdot 10^{21}$	-
32	I5	0	0,28	$4 \cdot 10^{21}$	-
33	350	0	0,01	$1,3 \cdot 10^{22}$	-
34	I7	0	0,06	$1 \cdot 10^{21}$	-
35	I7	0	0,03	$2 \cdot 10^{20}$	-
36	II	0	0,03	$4 \cdot 10^{20}$	-
37	I4	0	0,03	$9 \cdot 10^{20}$	-
38	I00	4	0,66	$4 \cdot 10^{21}$	2,4
39	200	20	0,13	$1 \cdot 10^{20}$	3
40	200	I8	0,10	$1,3 \cdot 10^{20}$	4
41	200	37	0,15	$1 \cdot 10^{20}$	3
42	40	I4	0,38	$1,4 \cdot 10^{21}$	-

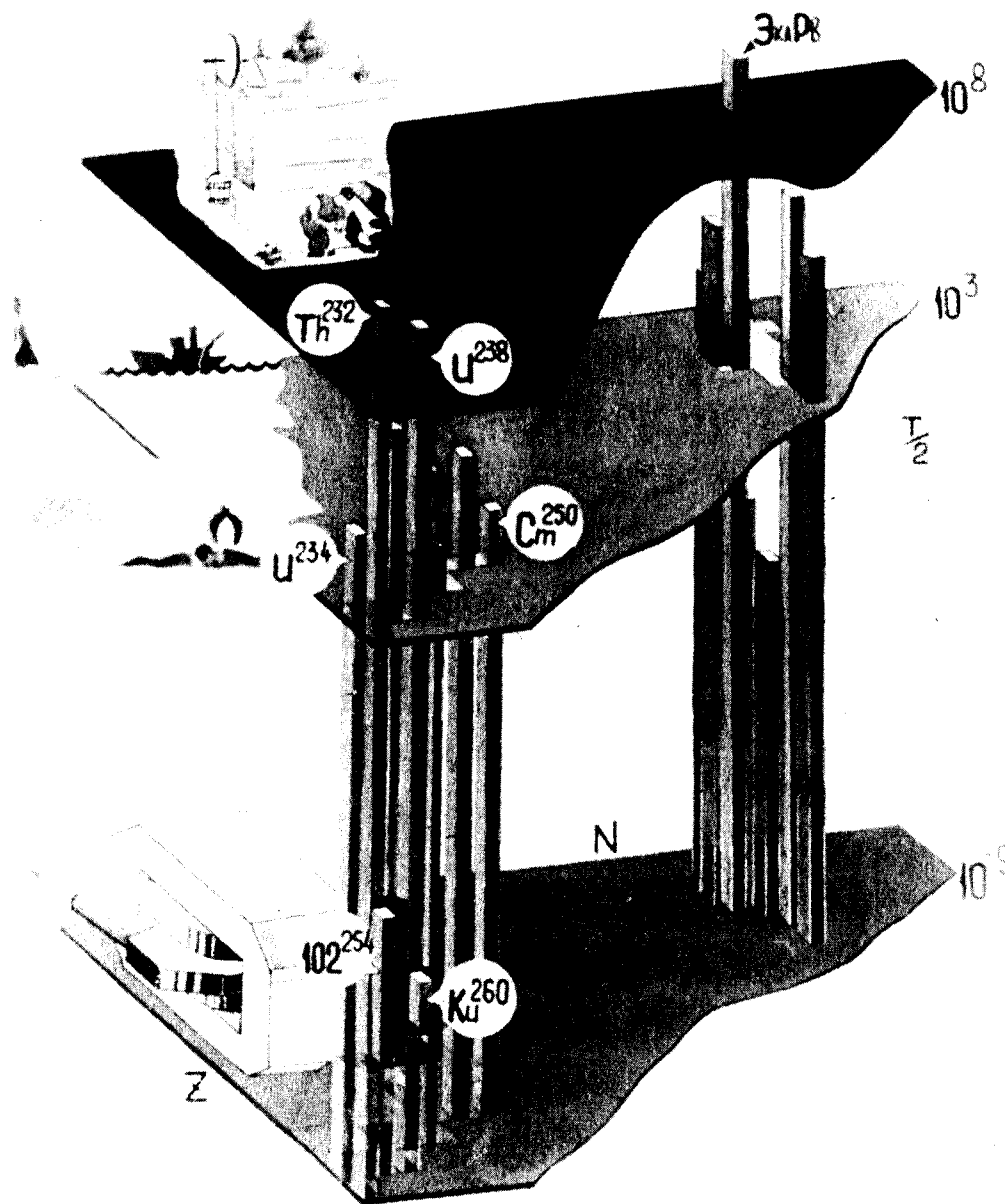


Рис.1. Схематическое представление различных путей получения изотопов сверхтяжелых элементов с различными Z и N в зависимости от их времени жизни.



Рис.2. Фотография некоторых из исследованных образцов древних стекол.



Рис.3. Большие пропорциональные счетчики, применявшиеся для регистрации осколков спонтанного деления /44/.



Рис.4. Фотография конкреций на дне океана.