

С 341.1 + С 341.1

4-341

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

7 - 4596

В.А.Щеголев

СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ АЛЬФА-РАСПАДА ИЗОТОПОВ  
ЭЛЕМЕНТА 103 С МАССОВЫМИ ЧИСЛАМИ 256 И 257

Специальность Г-055 - физика атомного ядра  
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание учёной  
степени кандидата физико-математических наук

Дубна 1969

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:  
действительный член АН СССР

Г.Н.Флеров

Официальные оппоненты:  
доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник  
Б.Г.Ерозалимский  
кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник  
Ю.А.Александров

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Радиевый институт им. В.Г.Хлопина

Автореферат разослан " " 1969 г.

Защита диссертации состоится " " 1969 г. на заседании Объединенного учёного совета Лаборатории ядерных реакций и Лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований.

Адрес: Дубна, Московской области, ОИЯИ, конференц-зал ЛЯР.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Учёный секретарь Совета

Ю.Т.Чубурков

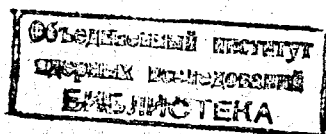
7 - 4596

В.А.Щеголев

СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ АЛЬФА-РАСПАДА ИЗОТОПОВ  
ЭЛЕМЕНТА 103 С МАССОВЫМИ ЧИСЛАМИ 256 И 257

Специальность Г-055 - физика атомного ядра  
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание учёной  
степени кандидата физико-математических наук



Экспериментальные данные, получаемые в исследованиях, связанных с синтезом и изучением свойств новых элементов, являются исходными при решении целого ряда задач, стоящих перед ядерной физикой. В первую очередь это относится к проблеме стабильности сверхтяжелых ядер, к выяснению вопроса: существует ли принципиальный предел периодической системы элементов? Накопление данных о свойствах распада изотопов новых элементов позволит также выявить общие черты в структуре ядер и получить материал для развития и совершенствования теории внутриядерного движения нуклонов. Далее, определение химических свойств новых элементов позволит создать правильные представления о периодичности конфигураций атомных электронов и даст, следовательно, возможность предсказывать химические свойства еще неизвестных элементов.

Из всех доступных в настоящее время методов синтеза новых элементов наиболее перспективным является использование ядерных реакций, возникающих при взаимодействии ядер с ускоренными тяжелыми ионами. Преимущества этого метода перед всеми остальными состоят в том, что он дает возможность:

- а) иметь относительно большой выход конечного продукта в области сверхтяжелых ядер;
- б) получать продукт с заданными  $Z$  и  $A$ , минуя стадии накопления промежуточных продуктов;
- в) отделять конечный продукт в процессе его производства в ядерной реакции от материала мишени, что позволяет применять экспрессные методы регистрации

В испарительных реакциях на тяжелых ионах синтезированы изотопы трех новых элементов с  $Z = 102, 103$  и  $104$  (курчатовий), а также новые изотопы уже известных трансурановых элементов (Cf, Es, Fm, Md). Эти работы выполнены в основном в лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований, в Дубне, а также в Радиационной лаборатории им. Э.Лоуренса Калифорнийского университета в Беркли (США) на протяжении последних десяти лет.

Механизмы взаимодействия ускоренных тяжелых ионов с тяжелыми ядрами весьма разнообразны, а вероятность образования атома нового элемента очень мала; она составляет  $10^{-8} - 10^{-10}$  от общего числа ядерных взаимодействий. Поэтому выделение эффекта распада ядра нового элемента сопряжено со значительными экспериментальными трудностями, а сам факт синтеза требует тщательно обоснованных доказательств, использующих различные методы идентификации.

В настоящей диссертации описываются опыты, в которых были впервые синтезированы изотопы элемента  $103$  с массовыми числами  $256$  и  $257$  и изучены характеристики их распада. Помимо этого рассматриваются вопросы, связанные с выбором методов идентификации и оценкой сечений испарительных реакций на тяжелых ионах, которые являлись исходными при постановке описываемых экспериментов. Полученные в опытах результаты сопоставляются с имеющимися данными о радиоактивных свойствах тяжелых элементов. Проводится также анализ других работ, в которых исследовался элемент  $103$ .

Первая глава состоит из четырех разделов. В первом разделе приводятся общие сведения, касающиеся проблематики направлений, связанных с синтезом новых элементов. Сравнительный анализ используемых в настоящее время способов синтеза, а именно, накопление трансурановых элементов при облучении в нейтронных потоках высокой плотности как в ядерных реакторах, так и при термоядерных взрывах и использование ядерных реакций на тяжелых ионах, показывает, что последний способ имеет определенные

преимущества. Это подтверждается как достигнутыми результатами (подавляющая часть трансфермиевых элементов синтезирована именно этим способом), так и дальнейшими перспективами (возможность использовать кроме испарительных реакций деление и реакции передачи на сверхтяжелых ионах, вплоть до урана).

Вместе с тем исследования, проводимые с использованием тяжелых ионов, имеют определенную специфику, которая определяется тем, что слабые эффекты образования и распада трансфермиевых элементов, соответствующие поперечным сечениям  $10^{-34} - 10^{-30} \text{ см}^2$ , приходится выделять на фоне многообразных ядерных взаимодействий с поперечным сечением  $10^{-28} - 10^{-24} \text{ см}^2$ . К этому нужно добавить, что последние не изучены в полном объеме. Как показывает практика, в ядерных реакциях на тяжелых ионах создаются благоприятные условия для образования различного рода изомеров, имеющих свойства, которые можно было бы ожидать для изотопов трансфермиевых элементов. Ввиду этого при идентификации новых элементов требуется строгое и однозначное доказательство. С другой стороны, при синтезе определенного изотопа для увеличения отношения эффект/фон стремятся выбрать реакции с максимально большим поперечным сечением. Эти вопросы обсуждаются в последующих разделах первой главы.

Во втором разделе рассматриваются вопросы, относящиеся к систематизации данных по сечениям испарительных реакций и их возможным оценкам. В связи с этим дается обзор теоретических представлений о возбужденном составном ядре и способах его распада, которые основаны на статистической модели ядра.

Основным фактором, определяющим величину сечений и соотношение между сечениями реакций, идущих через одно составное ядро, является отношение вероятности испарения нейтронов к вероятности деления, выраженное через отношение соответствующих ширины  $\Gamma_n / \Gamma_f$ . Существуют две модели распада составного ядра: модель постоянной температуры и модель ферми-

газа, отличающиеся различными предположениями о зависимости плотности уровней от энергии возбуждения. В обзоре приводятся различные экспериментальные данные, интерпретация которых возможна только в рамках одной или другой модели. Какие именно факторы допускают ту или другую интерпретацию, не вполне ясно. В настоящей диссертации сделана попытка связать эти различия с оболочечными эффектами, основывающаяся на следующем наблюдении. Если составное ядро содержит число нейтронов, превосходящее "магическое" ( $N > 126$  или  $N > 152$ ), то соотношение между сечениями испарительных реакций, идущих через это составное ядро, подчиняется интерпретации в рамках модели ферми-газа, т.е. допускается возрастание  $\Gamma_n / \Gamma_f$  с увеличением энергии возбуждения. Если же число нейтронов в составном ядре меньше "магического", то  $\Gamma_n / \Gamma_f$  не зависит от энергии возбуждения (модель постоянной температуры). На опыте это выражается в том, что сечения испарительных реакций, идущих через одно составное ядро, с увеличением энергии возбуждения уменьшаются медленней в случае "надоболочечных" ядер, чем в случае "подоболочечных" (рис. 1). Это имеет место даже тогда, когда параметр делимости  $Z^2/A$  в первом случае больше, чем во втором. Влияние оболочечных эффектов на величину  $\Gamma_n / \Gamma_f$  отмечено также в ряде других работ, результаты которых приводятся в обзоре.

Использование указанных моделей дает возможность осуществить достаточно хорошую подгонку экспериментальных результатов к теоретическим формулам при соответствующем выборе параметров в каждом конкретном случае: расхождение не превосходит 75%. Однако предсказать, каким будет сечение в неизвестной области, теория не может, т.к. не известна точно зависимость величины  $\Gamma_n / \Gamma_f$  от энергии возбуждения, массового числа, атомного номера и углового момента составного ядра в широком интервале изменения этих параметров, не известны также параметры плотностей уровней при высоких энергиях возбуждения. В основе имеющихся расчетов лежат лишь

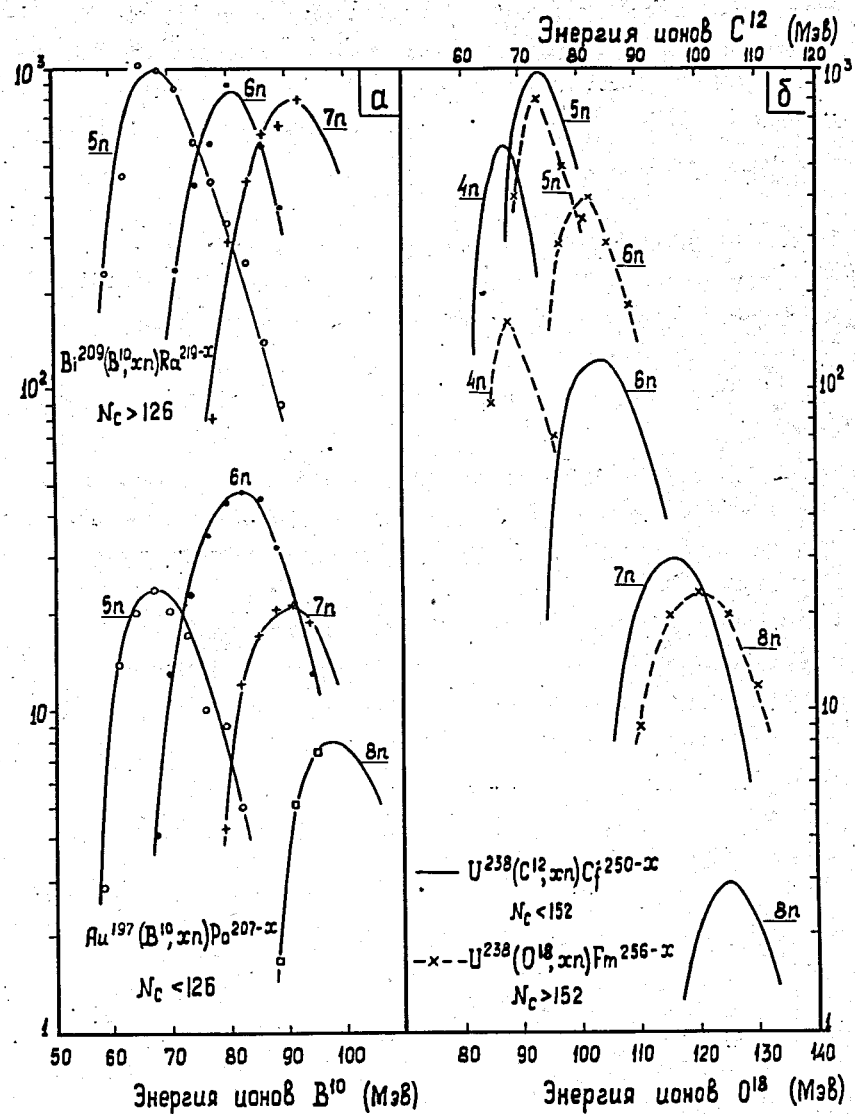


Рис. 1. Сравнение соотношений сечений испарительных реакций, идущих через одно составное ядро в случае  $N_0 \leq 126$  и  $152$ .



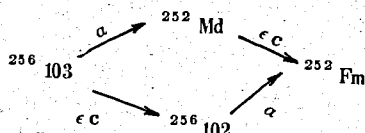
качественные предположения о степени влияния указанных параметров.

Поэтому на практике используются различные систематики поперечных сечений. Эмпирический подход при оценке сечений неизвестных реакций дает более надежные предсказания. В данном случае при оценке сечений реакций  $^{243}\text{Am}(^{18}\text{O}, 5n)^{256}\text{103}$  и  $^{243}\text{Am}(^{18}\text{O}, 4n)^{257}\text{103}$  использовалась систематика, приведенная в работе /4/.

В третьем разделе разбираются различные методы идентификации изотопов новых элементов и их применимость в определенных условиях экспериментов. Подчеркивается, что достоверность результатов обеспечивается комбинированием разных методов идентификации.

В четвертом разделе рассматриваются различные источники фона, имеющего место при регистрации распада трансфермиевых элементов. Такими источниками являются при регистрации  $\alpha$ -распада изотопы в области Po-Th, а при регистрации спонтанного деления - sf - изомеры. Эти продукты образуются в реакциях, идущих на примесях легких элементов в материале мишени, в реакциях передачи и деления /5/. Сечения таких процессов в ряде случаев значительно превосходят сечения образования трансфермиевых элементов. В диссертации анализируются условия, в которых возможно появление фона и описываются меры, принимаемые для его подавления /7/.

Во второй главе описываются эксперименты /6/ по синтезу, идентификации и измерению периода полураспада изотопа  $^{256}\text{103}$ . Синтез осуществлялся в ядерной реакции  $^{243}\text{Am}(^{18}\text{O}, 5n)^{256}\text{103}$ . При этом предполагалась следующая цепочка распадов:



Для идентификации использовался метод регистрации по продукту распада  $^{252}\text{Fm}$ , при описании которого в диссертации сформулированы требования, учитывающие специфические особенности взаимодействия ускоренных тяжелых ионов с тяжелыми ядрами, и показано, как эти требования были удовлетворены. Основными моментами создания методики явилось создание устройства, в котором дочерние продукты отделялись от первичных продуктов, образующихся непосредственно в ядерных реакциях; применение методов ионообменной хроматографии для выделения фракции фермия; обеспечение долговременных  $\alpha$ -спектрометрических измерений выделенной фракции.

Методика была апробирована в различных модельных экспериментах, в которых определялись полная эффективность регистрации (3,5%), быстродействие ( $\geq 0,1$  сек) и уровень возможного фона ( $\leq 0,1\%$ ). Кроме того показано, что с помощью данной методики можно однозначно идентифицировать первичные продукты по их внучатым продуктам в случае  $A^Z B^Z C$ .

В основных экспериментах измерялась функция возбуждения реакции  $^{243}\text{Am}(^{18}\text{O}, 5n)^{256}\text{103}$ , полуширина которой составляет  $\approx 9$  Мэв, а максимальное поперечное сечение -  $6 \cdot 10^{-32}$  см<sup>2</sup> (рис. 2). Измерялся также период полураспада  $^{256}\text{103}$ , который оказался равным  $45 \pm 10$  сек (рис. 3).

Факт синтеза  $^{256}\text{103}$  доказывался присутствием  $^{252}\text{Fm}$  во фракции дочерних продуктов и тем, что выход его соответствовал функции возбуждения испарительной реакции. Все иные возможности появления  $^{252}\text{Fm}$  в дочерних продуктах были исключены результатами дополнительных контрольных опытов.

Результаты этих опытов послужили основой для постановки экспериментов, в которых проводилось непосредственно наблюдение  $\alpha$ -излучения изотопов  $^{256}\text{103}$  и  $^{257}\text{103}$  /7/. Описание этих опытов приводится в третьей главе.

Для исследования  $\alpha$ -распада  $^{256}\text{103}$  и  $^{257}\text{103}$ , синтез которых осуществлялся в реакциях  $^{243}\text{Am}(^{18}\text{O}, 5n)$  и  $^{243}\text{Am}(^{18}\text{O}, 4n)$ ,

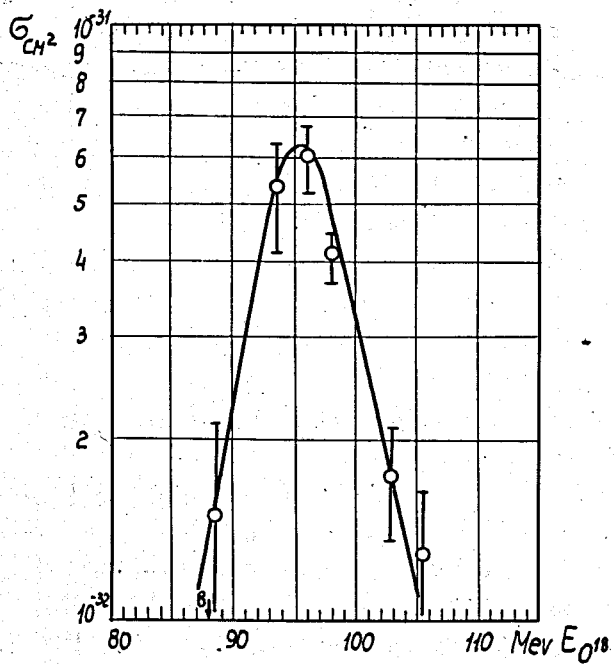


Рис. 2. Функция возбуждения реакции  $^{243}\text{Am}(^{18}\text{O}, 5n)^{256}_{103}$ , измеренная по выходу  $^{252}\text{Fm}$ .

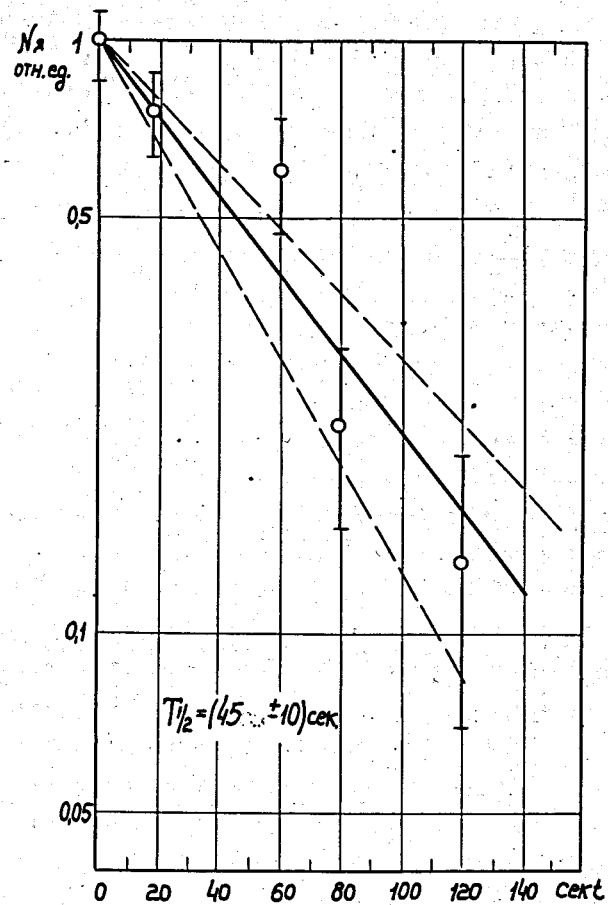


Рис. 3. Период полураспада  $^{256}_{103}$ , измеренный по выходу  $^{252}\text{Fm}$ .



соответственно, был применен метод адсорбции атомов отдачи из газовой струи. Этот метод основан на том, что выбитые из мишени атомы отдачи, заторможенные затем в газе, могут быть выкачаны вместе с газом из реакционной камеры через маленькое отверстие (с диаметром  $\approx 0,5$  мм) в откачиваемый объем. Если на пути струи имеется поверхность из какого-либо металла, атомы отдачи адсорбируются на ней и их радиоактивное излучение может быть зарегистрировано с помощью детектора, размещенного напротив "пятна", в котором концентрируются атомы отдачи.

Эффективность сбора ядер отдачи, достигаемая с такой методикой, составляет 50-90%, что позволяет регистрировать эффекты, имеющие сечения  $\approx 10^{-33}$  см<sup>2</sup>.

В диссертации дается описание экспериментальной установки, использовавшейся в данных опытах.

Сами эксперименты сводились к обнаружению  $\alpha$ -активности, выход которой соответствовал бы функциям возбуждения реакций  $^{243}\text{Am} (^{18}\text{O}, 5n) ^{256}\text{103}$  и  $^{243}\text{Am} (^{18}\text{O}, 4n) ^{257}\text{103}$ . На рис. 4 представлены  $\alpha$ -спектры продуктов ядерных реакций, полученные при энергии ионов  $^{18}\text{O}$  в диапазоне 90-105 Мэв. По характеру изменения выхода  $\alpha$ -активности в диапазоне  $8,35 \leq E_\alpha \leq 8,60$  Мэв (рис. 5) было сделано заключение, что изотоп  $^{256}\text{103}$  испускает  $\alpha$ -частицы с энергией в диапазоне  $8,35 \leq E_\alpha \leq 8,50$  Мэв (наиболее интенсивная линия соответствует  $E_\alpha = 8,42$  Мэв), а изотоп  $^{257}\text{103}$  испускает  $\alpha$ -частицы с энергией в диапазоне  $8,50 \leq E_\alpha \leq 8,60$  Мэв (наиболее интенсивная линия соответствует  $E_\alpha = 8,52$  Мэв).

$\alpha$ -спектр обоих изотопов сложный, что типично при распаде нечетных ядер, и не исключено, что происходит частичное перекрывание их  $\alpha$ -спектров.

Периоды полураспада обоих изотопов приблизительно равны и составляют 35 сек (рис. 6). Это находится в согласии с результатами опытов, описанных в главе 2.

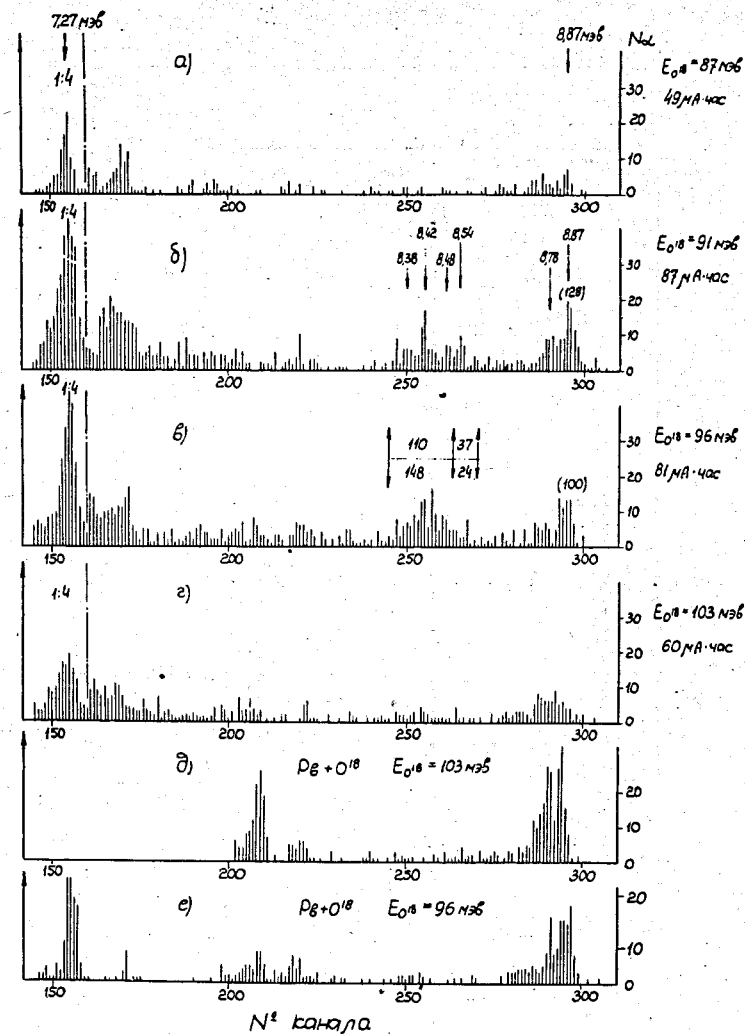


Рис. 4.  $\alpha$ -спектры продуктов ядерных реакций, полученные при облучении  $^{243}\text{Am} + ^{18}\text{O}$  и  $\text{Pb} + ^{18}\text{O}$ . К изотопам  $^{256}\text{103}$  и  $^{257}\text{103}$  относятся  $\alpha$ -группы в интервале  $8,35 < E_\alpha < 8,60$  Мэв.

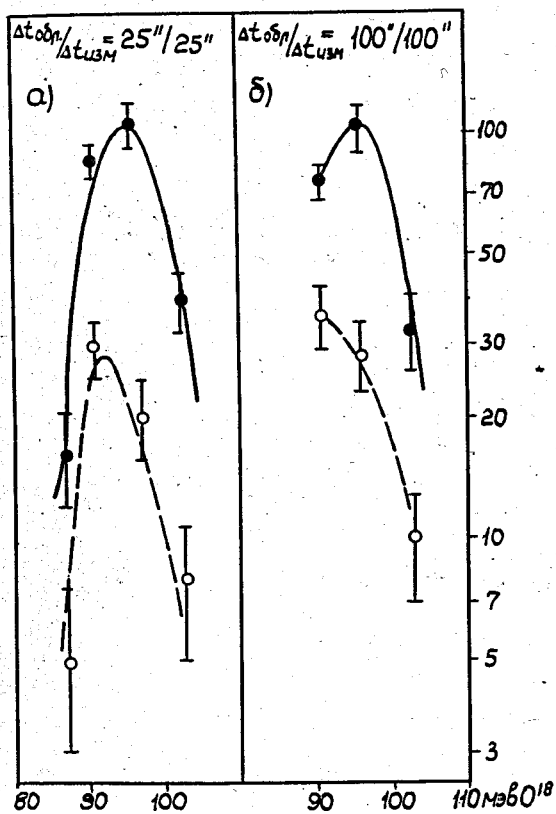


Рис. 5. Выход  $\alpha$ -активности в диапазонах  $8,35 < E_\alpha < 8,50$  Мэв (темные точки) и  $8,50 < E_\alpha < 8,60$  Мэв (светлые точки) при изменении энергии ионов  $^{18}\text{O}$ . Сплошная кривая соответствует функции возбуждения реакции  $^{243}\text{Am}(^{18}\text{O}, 5n)^{256}_{103}$ , а штриховая -  $^{243}\text{Am}(^{18}\text{O}, 4n)^{257}_{103}$ . а) и б) относятся к разным режимам регистрации.

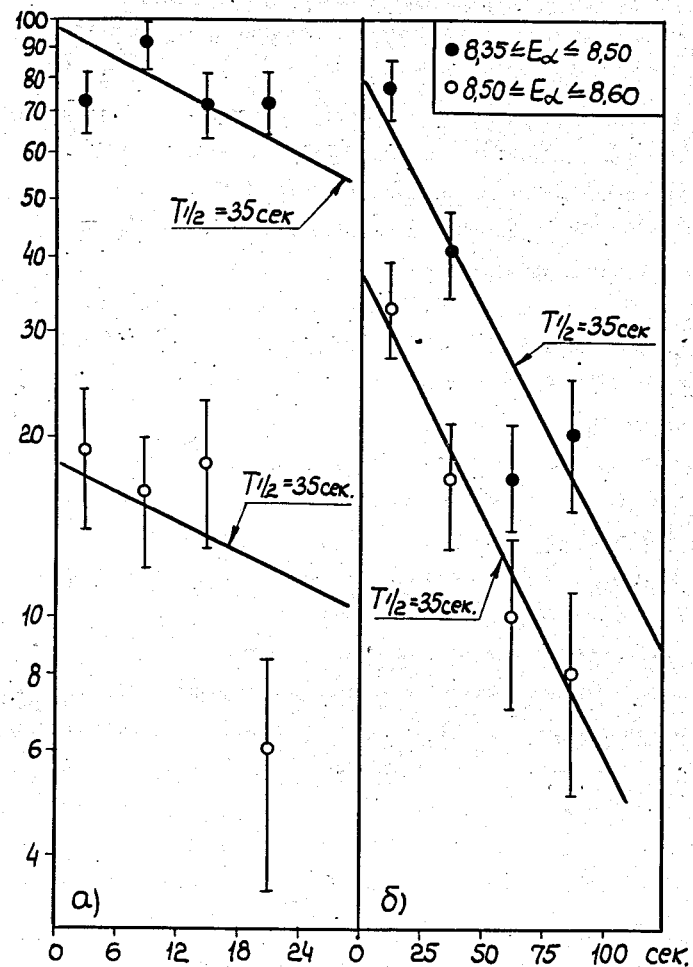


Рис. 6. Кривые распада для  $\alpha$ -групп с энергией  $8,35 < E_\alpha < 8,50$  Мэв (темные точки), относящиеся к  $^{256}_{103}\text{Po}$ , и для групп с энергией  $8,50 < E_\alpha < 8,60$  Мэв (светлые точки), относящиеся к  $^{257}_{103}\text{Po}$ . а) и б) относятся к разным режимам регистрации.

В четвертой главе дается обзор работ других авторов, в которых изучался элемент 103 и обсуждаются результаты настоящей работы в рамках имеющихся систематик  $\alpha$ - и  $\beta$ -распада тяжелых ядер.

Эксперименты по синтезу изотопов элемента 103 проводились группой А.Гиорсо в Беркли (США) в 1958-1961 гг. /8-10/.

В опытах использовалась многоизотопная мишень из калифорния ( $^{249}\text{Cf}$  - 3,3%;  $^{250}\text{Cf}$  - 32,8%;  $^{251}\text{Cf}$  - 12,3%;  $^{252}\text{Cf}$  - 50,8%), которая облучалась ионами  $^{10}\text{B}$  и  $^{11}\text{B}$ .

После ряда неудачных попыток выделить дочерние продукты после распада изотопов элемента 103, которые могли в принципе синтезироваться в испарительных реакциях /9/, группа

А.Гиорсо предприняла непосредственный поиск  $\alpha$ -активности, связанной с распадом изотопов элемента 103 /10/. Ими была обнаружена неизвестная  $\alpha$ -активность с  $E_\alpha = 8,6$  Мэв и

$T_{1/2} = 8 \pm 2$  сек, которая по ряду соображений могла быть приписана изотопу  $^{257}\text{103}$ . Авторы заявили об открытии элемента 103 и предложили название "лоуренсий".

В диссертации дается подробный анализ работ /8-10/ и приводятся доводы, которые заставляли усомниться в достоверности американской работы /10/. Последующие опыты, описанные в гл. III, а также результаты работ /11,12/ подтвердили, что свойства изотопа  $^{257}\text{103}$  на самом деле резко отличаются от указанных в работе /10/. А.Гиорсо признал ошибочность своих результатов и сделал предположение /13/, что наблюдавшаяся  $\alpha$ -активность с  $E_\alpha = 8,6$  Мэв и  $T_{1/2} = 8$  сек связана с распадом  $^{258}\text{103}$  или  $^{259}\text{103}$ . Однако это предположение находится в противоречии с данными работы /10/; в диссертации приводится соответствующая аргументация.

Анализ результатов опытов, описанных в гл. II и III, проводился в рамках систематики  $\alpha$ - и  $\beta$ -распада тяжелых ядер, предложенной Вайолой и Сиборгом /14/.

Наличие в  $\alpha$ -спектре  $^{256}\text{103}$   $\alpha$ -линии с  $E_\alpha = 8,42$  Мэв (такой же энергией обладают  $\alpha$ -частицы при распаде  $^{256}\text{102}$ )

позволяет сделать предположение, что  $^{256}\text{103}$  частично ( $\leq 0,4$ ) испытывает электронный захват. В связи с этим были рассчитаны парциальные периоды полураспада для этого изотопа по  $\alpha$ -распаду и электронному захвату.

В таблице 1 приводятся предсказанные /14/ и определенные экспериментально свойства изотопов  $^{256}\text{103}$  и  $^{257}\text{103}$ .

Экспериментальные значения  $Q_\alpha = 8,74$  Мэв (для  $^{256}\text{103}$ ) и  $Q_\alpha = 8,65$  Мэв (для  $^{257}\text{103}$ ) получены в предположении, что  $\alpha$ -линии с  $E_\alpha = 8,60$  и  $E_\alpha = 8,52$  Мэв соответствуют переходам в основное состояние.

Коэффициенты запрета  $F$  вычислялись как отношение экспериментально измеренных периодов полураспада к рассчитанным в рамках одночастичной модели.

#### В ы в о д ы

1. Впервые синтезированы изотопы  $^{256}\text{103}$  и  $^{257}\text{103}$  и изучен их  $\alpha$ -распад.
2. Изотоп  $^{256}\text{103}$  имеет сложный  $\alpha$ -спектр в диапазоне  $8,35 < E_\alpha < 8,60$  Мэв (наиболее интенсивная  $\alpha$ -линия имеет  $E_\alpha = 8,42$  Мэв). Период полураспада  $^{256}\text{103}$  равен  $35 \pm 10$  сек. Не исключено, что в  $\approx 40\%$  случаев  $^{256}\text{103}$  испытывает электронный захват. Идентификация изотопа проведена как по продукту его распада  $^{252}\text{Fm}$ , так и по функции возбуждения реакции  $^{243}\text{Am} (^{18}\text{O}, 5n) ^{256}\text{103}$ .
3. Изотоп  $^{257}\text{103}$  имеет сложный  $\alpha$ -спектр в диапазоне  $8,50 < E_\alpha < 8,60$  Мэв (наиболее интенсивная  $\alpha$ -линия имеет  $E_\alpha = 8,52$  Мэв). Период полураспада  $^{257}\text{103}$  равен  $35 \pm 10$  сек. Идентификация проводилась по функции возбуждения реакции  $^{243}\text{Am} (^{18}\text{O}, 4n) ^{257}\text{103}$ .
4. Показана ошибочность американских опытов по  $^{257}\text{103}$ .
5. Предлагается новый подход при рассмотрении данных по сечениям испарительных реакций, учитывающий оболочечную структуру составного ядра.

Таблица I.

Изотоп	$Q_{\alpha}$	$Q_{\beta}$	$T_{1/2}(\alpha)$	$T_{1/2}(S_{\beta})$	$T_{1/2}(E_{\alpha})$	$T_{1/2}$	$F$	$\log ft$
	Мэв	Мэв	сек	лет	сек	сек		
$^{103}_{256}$ теор.	8,590	-3,390	24	$9,10^8$	7200			6,9
эсп.	8,74		(50)		(120)	$45 \pm 10$ $35 \pm 10$	8	5,8
$^{103}_{257}$ теор.	8,750	-3,950	3,5	200	3600			
эсп.	8,65		$35 \pm 10$			$35 \pm 10$	20	

6. Измерено отношение  $a/\epsilon$  для изотопа  $^{250}\text{Md}$ , которое равно 2,7.

Результаты, лежащие в основе диссертации, опубликованы в журналах "Атомная энергия", "Ядерная физика", "Nuclear Physics" и в виде препринтов ОИЯИ, а также доложены на Международной конференции по физике тяжелых ионов (1966) и Международной конференции по структуре ядра в Токио (1968).

Диссертация написана по материалам работ /4-7,15/.

## Л и т е р а т у р а

1. Г.Н.Флеров. Перспективы синтеза новых изотопов и элементов. Препринт ОИЯИ, Д7-3623, Дубна 1967.
2. G.N.Flerov. Science Eng., 17, 1 (1967).
3. G.T.Seaborg. Ann. Rev.Nucl.Sci., 18, 53 (1968).
4. Е.Д.Донец, В.А.Шеголев. Препринт ОИЯИ Р-3835, Дубна 1968.
5. И.В.Кузнецов, Н.С.Мальцева, Ю.Ш.Оганесян, А.М.Сухов, В.А.Шеголев. Ядерная физика, 8, 448 (1968).
6. Е.Д.Донец, В.А.Шеголев, В.А.Ермаков, Атомная энергия, 19, 109 (1965).
7. Г.Н.Флеров, Ю.С.Короткин, В.Л.Михеев, М.Б.Миллер, С.М.Полликанов, В.А.Шеголев. Nuclear Physics, A103 476 (1967).
8. A.Ghiorso, T.Sikkeland, J.Walton, G.T.Seaborg. Phys.Rev. Lett., 1, 18 (1958).
9. A.Ghiorso. Proc. of the Second Conf. on Reactions between Complex Nuclei. Gateinburg. May 2-4, 1960, p.195.
10. A.Ghiorso, T.Sikkeland, A.E.Larsh, R.M.Latimer. Phys.Rev. Lett., 6, 473 (1966).
11. Г.Н.Флеров, Г.Н.Акапьев, А.Г.Демин, В.А.Друин, Ю.В.Лобанов, Б.В.Фефилов. Препринт ОИЯИ Р7-3556, Дубна 1967.
12. A.Ghiorso, J.Maly, T.Sikkeland, R.J.Silva. Abstr., Am. Chem. Soc.Div. of Nucl.Chem. and Technology Symp. Macroscopic Studies of Actinides, San. Francisco, April 1-5, 1968.

13. A.Ghiorso. Private Communications, Reported by C.M.Lederer, J.M.Hollander, I.Pearlman. "Table of Isotopes" sixth edition, John Willy and Sons, 1967.
14. V.E.Viola, G.T.Seaborg, J.Inorg. Nucl. Chem., 28, 697(1966).
15. Труды Международной конференции по физике тяжелых ионов. 13-19 октября 1966 г., Дубна.

Рукопись поступила в издательский отдел

10 июля 1969 года.