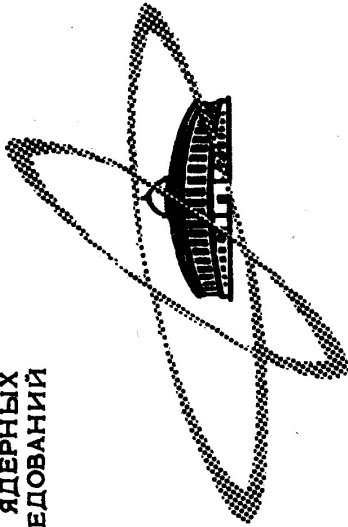


ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



P7-5164

Г.Н. Флеров, Ю.Ц. Оганесян, Ю.В. Лобанов,
Ю.А. Лазарев, С.П. Третьякова, И.В. Колесов,
В.М. Плотко

СИНТЕЗ ЭЛЕМЕНТА 105
(СПОНТАННОЕ ДЕЛЕНИЕ)

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.
Заказ 11480. № Тираж 470. Уч.-изд. листов 1,5.
Редактор Н.Н.Зрелова. Июль 1970 г.

Флеров Г.Н., Оганесян Ю.Ц., Лобанов Ю.В., Лазарев Ю.А., Р7-5164
Третьякова С.П., Колесов И.В., Плотко В.М.
Синтез элемента 105. (Спонтанное деление)

При облучении ^{243}Am ускоренными ионами ^{22}Ne зарегистрирована излучающая осколки спонтанного деления с периодом полураспада $(1,8 \pm 0,6)$ сек; его выход соответствует сечению образования $(5,0 \pm 1,5) \cdot 10^{-34} \text{см}^2$ для ветви спонтанного деления.

Измерены интегральные угловые распределения продуктов реакции $^{243}\text{Am} + ^{22}\text{Ne}$ и зависимость сечения образования нового изотопа от энергии бомбардирующих ионов. Из этих данных, а также из анализа результатов контрольных опытов следует, что атомный номер изотопа, испытывающего спонтанное деление с $\tau_{1/2} = 1,8 \pm 0,6$ сек, равен 105.

Исследовано спонтанное деление изотопов $^{256, 257, 103}$. Показано, что для этих ядер период полураспада по отношению к спонтанному делению больше чем 10^5 сек. На основе полученных экспериментальных данных обсуждаются свойства изотопа $^{258} 103$.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1970

Flerov G.N., Oganessian Yu.Cs., Lobanov Yu.V., R7-5164
Lazarev Yu.A., Tretyakova S.P., Kolesov I.V., Plotko V.M.
Synthesis of Element 105. (Spontaneous Fission)

When bombarding ^{243}Am with the ^{22}Ne ions an emitter of the spontaneous fission fragments with $\tau_{1/2} = (1,8 \pm 0,6)$ sec has been recorded; its yield corresponds to the cross section $(5,0 \pm 1,5) \cdot 10^{-34} \text{cm}^2$ for the branch of spontaneous fission.

An integral angular distribution of the $^{243}\text{Am} + ^{22}\text{Ne}$ reaction products and the dependence of the production cross section of a new isotope on the ^{22}Ne energy are measured. It follows from these data and the analysis of the check experiment results that the atomic number of the isotope, being spontaneously fissionable with $\tau_{1/2} = (1,8 \pm 0,6)$ sec, is 105.

The spontaneous fission of $^{256, 257, 103}$ isotopes has been studied. It is shown that for these nuclei the half-life is more than 10^5 sec with respect to the spontaneous fission. The properties of the $^{258} 103$ isotope are discussed on the basis of experimental data.

Preprint. Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 1970

R7-5164

Г.Н. Флеров, Ю.Ц. Оганесян, Ю.В. Лобанов,
Ю.А. Лазарев, С.П. Третьякова, И.В. Колесов,
В.М. Плотко

СИНТЕЗ ЭЛЕМЕНТА 105
(СПОНТАННОЕ ДЕЛЕНИЕ)

Введение

В 1968 году в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ были проведены эксперименты по получению нового элемента с атомным номером 105^{1/1}.

При облучении ²⁴³Am ускоренными ионами ²²Ne с очень малым сечением наблюдалось образование короткоживущих излучателей α -частиц с энергией 9,4 - 9,7 Мэв. Однако на основании анализа схем распада известных α -радиоактивных ядер с нечётным числом нуклонов можно предполагать, что основная доля α -распада изотопов с $Z = 105$ приходится на возбужденные уровни дочерних ядер ($Z = 103$) и что наиболее интенсивные α -линии, принадлежащие изотопам ^{260,261}105, нужно искать в более мягкой части α -спектра ($E_\alpha \leq 9,1$ Мэв). Не исключено также, что наблюдаемые α -линии принадлежат одному изотопу 105-го элемента, в то время как группа α -частиц с энергией около 9 Мэв будет соответствовать распаду другого, более долгоживущего изотопа. К сожалению, в интервал энергий 8,8 - 9,0 Мэв попадают α -частицы изотопов ($Z < 92$), образующихся в результате ядерных реакций на микропримесях свинца в Ам-мишени^{2/}. Поэтому, несмотря на то, что была проведена большая работа по очистке мишени от свинца, анализ этой части спектра в работе^{1/} был сильно затруднен.

Вместе с тем к синтезу 105-го элемента можно подойти с другой стороны.

Известно, что с ростом параметра делимости Z/A стабильность ядер по отношению к спонтанному делению резко уменьшается. Аналогично последние экспериментальные данные по изучению свойств ядер с $Z = 100, 102, 104$, можно получить представление о времени жизни изотопов 105-го элемента относительно спонтанного деления. Так, например, период полураспада $-T_{sp}$ для изотопа $^{261}105$ составляет по нашим оценкам от 10^{-1} до 10^2 сек. (запрет, обусловленный нечетным числом протонов, $\approx 10^2 - 10^5$), в то время как ожидаемый период α -распада этого же ядра может находиться в пределах от 10^{-1} до 10 сек. Эти оценки, безусловно, являются весьма приближенными, однако они позволили предположить, что образующиеся в реакциях $^{243}\text{Am} (^{22}\text{Ne}, \text{хп})^{265-105}$ изотопы нового элемента наряду с α -распадом могут испытывать спонтанное деление.

Метод наблюдения, основанный на регистрации осколков спонтанного деления, обладает значительно более высокой чувствительностью по сравнению с методами регистрации α -излучения. Условия относительно фона для спонтанного деления существенно лучше, поскольку из большинства побочных продуктов ядерных реакций лишь ограниченное число изотопов испытывает спонтанное деление.

Принимая во внимание все сказанное выше, мы в октябре 1969 года поставили эксперименты по поискам спонтанного деления изотопов 105-го элемента.

Методика эксперимента

Эксперименты проводились на установке, схематически показанной на рис. 1. Пучок ускоренных ионов фокусировался двумя парами квадрупольных линз и попадал на вход камеры, отделенной от вакуумного объема

ма ускорителя алюминиевой фольгой толщиной 15 мкм. За входным окном камеры помещалась мишень, изготовленная в виде слоя толщиной $\approx 1 \text{ мг/см}^2$ и площадью $\approx 4,5 \text{ см}^2$, нанесенного на 7 мкм алюминиевую подложку. Мишень помещалась в медную катушку-решетку, охлаждаемую водой (прозрачность решетки 73%). Для дополнительного охлаждения мишени весь объем камеры заполнялся He до давления 40 тор.

В опытах использовались мишени из ^{235}U (изотоп, состав: $^{235}\text{U} - 89,8\%$, $^{234}\text{U} - 1,3\%$), ^{239}Pu (99,6%), ^{243}Am (изотоп, состав: $^{243}\text{Am} - 97\%$, $^{241}\text{Am} - 3\%$) и ионы ^{16}O , ^{18}O , ^{20}Ne , ^{22}Ne с максимальными энергиями 135, 120, 192 и 175 Мэв соответственно. Энергия частиц варьировалась с помощью алюминиевых поглотителей, помещенных в специальной кассете между входной фольгой и мишенью. Энергетический разброс ионов в интервале энергий от 5 Мэв/нуклон до максимальной не превышал 2 Мэв. Угловая расходимость пучка была $\approx 1^\circ$. На входе камеры предполагалось специальное устройство, контролирующее распределение плотности потока ионов, падающего на мишень. Интенсивность потока ионов, проходящего через мишень, составляла в среднем $5 \cdot 10^{12}$ частиц/сек.

В экспериментах с $^{20,22}\text{Ne}$, где требовалось точное значение интегрального потока частиц, последний определялся по наведенной γ -радиоактивности от распада ^{76}Se ($T_{1/2} = 120,4$ дня, $E_\gamma = 121,136, 265, 280, 401 \text{ кэВ}$), образующегося при взаимодействии ионов неона с никелевой лентой - сборником. Зависимость выхода ^{76}Se от энергии ионов измерялась в отдельном опыте (см. рис. 2).

Ядра отдачи, образующиеся в реакции, попадали на сборник в виде "бесконечной" Ni - ленты длиной 8 м, шириной 25 мм и толщиной 0,05 мм, движущейся с постоянной скоростью. Вдоль ленты располагались 105 детекторов осколков деления, приготовленных из фосфатного стекла в виде пластинок размером $60 \times 35 \text{ мм}^2$; эффективность регистрации осколков деления составляет 95%/4/. Чувствительность методики

была такой, что появление одного трека на детекторах за время опыта (30-50 час.) соответствовало сечению образования спонтанно делящегося излучателя $\approx 2 \cdot 10^{-36}$ см². В связи с тем, что при облучении мишени возникает интенсивный поток нейтронов, в установке использовались магериалы с минимальным содержанием урана и тория $\approx 10^{-8}$ г/г. В контрольных экспериментах было установлено, что уровень фона соответствует сечению $< 5 \cdot 10^{-36}$ см².

Таким образом, с помощью данной установки можно было надежно зарегистрировать осколки спонтанного деления изотопов 105-го элемента, образующихся в реакциях $^{243}\text{Am} (^{22}\text{Ne}, 4-5n)^{261,260}\text{105}$, если вероятность спонтанного деления для этих ядер по отношению к α -распаду $\geq 0,01$ и период полураспада $\tau_{1/2} \geq 0,05$ сек.

При исследовании закономерностей образования спонтанно делящихся изотопов в ядерных реакциях необходимо было, как это будет следовать из дальнейшего, определить зависимость сечения вынужденного деления ^{285}U и ^{243}Am от энергии ионов ^{22}Ne . Экспериментальное устройство для этих измерений схематически представлено на рис. 2.

Экспериментальные результаты

В первом опыте мишень из ^{243}Am облучалась в течение 70 час. ионами ^{22}Ne с энергией 114 Мэв. Скорость движения ленты была выбрана равной 78 см/сек, и это позволяло наблюдать осколки деления во временном диапазоне от 0,05 до 10 сек. Результаты эксперимента представлены на рис. 3. Короткоживущий излучатель осколков спонтанного деления с $\tau_{1/2} = 0,014$ сек является известным изомером $^{242\text{m}}\text{Am}$, который образуется в реакции $^{243}\text{Am} (^{22}\text{Ne}, 2n)^{242\text{m}}\text{Am}$. Наряду с этим были зарегистрированы 58 случаев распада более долгоживущего изотопа, $\tau_{1/2} \approx 2$ сек. Выход новых спонтанно делящихся ядер соответствует сечению $\approx 2 \cdot 10^{-34}$ см².

Для идентификации атомного номера нового изотопа, испытывающего спонтанное деление с $\tau_{1/2} \approx 2$ сек, проводились эксперименты, необходимость постановки которых была обусловлена следующими обстоятельствами.

В настоящее время известно много спонтанно делящихся изомеров в области U-Am с периодами полураспада от 10^{-8} до 10^{-2} сек. В нашем случае такие ядра могут образовываться с относительно большой вероятностью в реакциях многоуклонного обмена $^{242\text{m}}\text{Am}$ (см., например, выход $^{242\text{m}}\text{Am}$, рис. 3). Необходимо выяснить, не является ли наблюдаемый новый излучатель осколков спонтанного деления представителем этой области ядер. Как будет показано ниже, ответ на этот вопрос может быть получен из угловых распределений ядер отдачи.

Нельзя было исключить также, что спонтанное деление с $\tau_{1/2} \approx 2$ сек испытывает неизвестный изотоп с атомным номером 102, 103 или 104, образующийся в реакции с вылетом заряженной частицы. В этом случае возможен иной метод анализа, основанный на изучении радиоактивных свойств изотопов этих элементов и механизма ядерных реакций, приводящих к их образованию.

Наконец, если спонтанное деление с $\tau_{1/2} \approx 2$ сек относится к одному из изотопов 105-го элемента, то последний при облучении ионами ^{22}Ne может быть получен только в реакции полного слияния с образованием возбужденного составного ядра $^{265}\text{105}$ и последующим испарением нейтронов. Характерной особенностью этой реакции является зависимость выхода изотопа от энергии возбуждения составного ядра. Поэтому измерение функции возбуждения спонтанно делящегося продукта с $\tau_{1/2} \approx 2$ сек может служить дополнительным и независимым методом его идентификации.

Для изотопа с $\tau_{1/2} \approx 2$ сек была получена величина $\frac{W_{k_1}}{W_{k_0}} = 0,47 \pm 0,10$. Из этих результатов следует, что наблюдаемый излучатель осколков спонтанного деления с $\tau_{1/2} \approx 2$ сек не является продуктом реакций многонуклонных передач и поэтому не может быть отнесен к области спонтанно делящихся изомеров.

Исследование закономерностей образования спонтанно делящегося изотопа с $\tau_{1/2} \approx 2$ сек

1) Угловые распределения ядер отдачи в реакциях с образованием компаунд-ядра и последующим испарением нейтронов угловое распределение ядер отдачи имеет острый максимум при малых углах $/7,8/$. В процессах многонуклонного обмена (квази-угруго рассеяние) ядра отдачи имеют значительную поперечную составляющую импульса, что приводит к существенному увеличению угловой дисперсии и смещению максимума углового распределения в сторону гораздо больших углов $/9/$. Эти обстоятельства могут быть использованы при идентификации нового изотопа, испытывающего спонтанное деление с $\tau_{1/2} \approx 2$ сек.

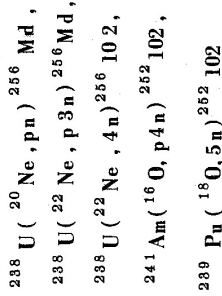
С помощью установки, представленной на рис. 1, можно измерять интегральные угловые распределения, изменяя степень коллимации вылетающих из мишени ядер отдачи. На рис. 4 показаны интегральные угловые распределения ядер отдачи для реакций с образованием составного ядра (сплошная кривая) и реакций многонуклонного обмена (заштрихованная область). Кривые построены на основе экспериментальных данных, полученных при облучении ^{197}Am , ^{208}Pb , ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu , ^{242}Pu ионами ^{18}O и ^{22}Ne $/10,11/$.

Аналогичные измерения были проведены нами для реакции $^{243}\text{Am} + ^{22}\text{Ne} /12/$. Между мишенью, заключенной в мелкую сетку, толщиной $\delta_0 = 1$ мм, с диаметром отверстий $d = 2$ мм ($k_0 = \frac{\delta_0}{d} = 0,5$), и сборником ядер отдачи помещался дополнительный коллиматор толщиной $\delta = 4$ мм ($k_1 = \frac{\delta_0 + \delta}{d} = 2,5$) и измерялся выход спонтанно делящихся продуктов для $k_0 = 0,5$ и $k_1 = 2,5$. Для изомера ^{242m}Am ($\tau_{1/2} = 0,014$ сек) отношение выходов $\frac{W_{k_1}}{W_{k_0}} = 0,18 \pm 0,02$, что хорошо согласуется с ожидаемым значением этой величины для реакции передачи нуклона $^{243}\text{Am} (^{22}\text{Ne}, ^{23}\text{Ne}) ^{242m}\text{Am}$ (см. рис. 4).

2) Анализ реакций с испусканием заряженных частиц

Известно, что наряду с реакциями, идущими через составное ядро, возможны также прямые процессы типа $(^{22}\text{Ne}, p\alpha)$, $(^{22}\text{Ne}, \alpha xp)$, $(^{22}\text{Ne}, \alpha, p\alpha)$ в результате которых будут образовываться изотопы 104-го, 103-го и 102-го элементов. Эти два класса реакций не могут быть достаточно надежно разделены с помощью коллимиционного метода, основанного на различии интегральных угловых распределений ядер отдачи. Поэтому мы рассмотрим более подробно свойства изотопов с $Z < 105$ и вероятность их образования при облучении ^{243}Am ионами ^{22}Ne .

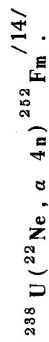
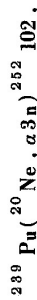
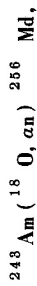
Из экспериментальных данных, полученных нами $/11,12/$, и результатов работы $/13/$ по исследованию реакций



следует, что отношение сечений $\frac{\sigma(\text{HI}, p\alpha n)}{\sigma(\text{HI}, 4-5n)} < 0,02$ при всех значениях $x > 1$, если энергия бомбардирующих частиц соответствует максимуму функций возбуждения реакций $(\text{HI}, 4-5n)$. Следует отметить также, что при облучении ^{243}Am ионами ^{22}Ne не наблюдалось

образования курчатовия с известным периодом полураспада $\tau_{1/2} = 0,1 \text{ сек} / 11$. Это позволило оценить сечения реакций $^{243}\text{Am} [^{22}\text{Ne}, p (3-4) n]^{259,260} 104$; они меньше чем $5 \cdot 10^{-35} \text{ см}^2$.

Вероятность процессов с испусканием α -частиц исследовалась нами, а также в работе /14/ на примерах реакций



Из сопоставления этих результатов с данными по сечениям соответствующих реакций ($\text{HI}, 5n$) можно сделать следующий вывод. Отношение

$$\frac{\sigma(\text{HI}, \alpha 4n)}{\sigma(\text{HI}, 5n)}$$

в максимумах функций возбуждения равно ≈ 10 ; измеренная нами величина $\frac{\sigma(\text{HI}, \alpha 3n)}{\sigma(\text{HI}, 5n)}$ близка к единице, а для реакций ($\text{HI}, \alpha n$) подобное отношение уже меньше чем 10^{-3} .

Таким образом, с относительно большой вероятностью идут реакции типа ($^{22}\text{Ne}, \alpha xn$) при $x = 3, 4, 5$. Они приводят к образованию изотопов 103-го элемента, спонтанное деление которых не исследовалось. В связи с этим нами были поставлены прямые эксперименты по определению парциальных периодов полураспада для спонтанного деления изотопов $^{256}\text{103}$ и $^{257}\text{103}$. При облучении ^{243}Am ионами ^{18}O с энергией 95 Мэв можно было одновременно исследовать спонтанное деление двух изотопов, образующихся в реакциях $^{243}\text{Am} (^{18}\text{O}, 4-5n) ^{257,256}\text{103}$. Сечения этих реакций известны и составляют $\approx 3 \cdot 10^{-32} \text{ см}^2 / 15$. В течение 15-часового облучения не было зарегистрировано ни одного осколка спонтанного деления, и это означает, что $\sigma_{s.f.} < 10^{-35} \text{ см}^2$. Принимая во внимание известные значения времени жизни этих изотопов относительно α -распада ($\tau_{1/2} \approx 35 \text{ сек}$ для обоих изотопов), можно ука-

зать нижнюю границу периода полураспада по отношению к спонтанному делению, $\tau_{s.f.} > 10^5 \text{ сек}$ для $^{256,257}\text{103}$. Реакции $^{243}\text{Am} [^{22}\text{Ne}, \alpha (2-3) n]$ будут приводить к образованию более тяжелых изотопов 103-го элемента с массовыми числами 258 и 259, свойства которых неизвестны. Однако трудно предполагать, что нечётно-нечётный изотоп $^{258}\text{103}$ будет испытывать спонтанное деление с периодом полураспада $\approx 2 \text{ сек}$. Маловероятно также, что при добавлении двух нейтронов к ядру $^{257}\text{103}$ период спонтанного деления может измениться более чем в 10^5 раз. К тому же вероятность реакции $^{243}\text{Am} (^{22}\text{Ne}, \alpha 2n) ^{259}\text{103}$, как указывалось выше, очень мала.

Таким образом, наблюдаемый нами новый излучатель осколков спонтанного деления с $\tau_{1/2} \approx 2 \text{ сек}$ не может быть изотопом 103-го элемента.

При энергии ионов $^{22}\text{Ne} - 115 \text{ Мэв}$ сечения реакций ($^{22}\text{Ne}, \alpha p xn$) чрезвычайно малы. К тому же при всех $x > 2$ образуются хорошо изученные изотопы 102-го элемента, ни одним из которых не может быть объяснено наблюдаемое спонтанное деление.

Рассматривая в совокупности полученные данные, мы приходим к заключению о том, что наблюдаемый в реакции $^{243}\text{Am} + ^{22}\text{Ne}$ продукт, испытывающий спонтанное деление с периодом полураспада около двух секунд, является изотопом 105-го элемента.

3) Измерение функции возбуждения

В реакции полного слияния, согласно статистической модели, зависимость вероятности образования изотопа с данным массовым числом от энергии возбуждения составного ядра имеет характерный вид, близкий к распределению Гаусса /16/. Заряд, масса и энергия возбуждения составного ядра хорошо определены, поэтому положение максимума и ширина кривой возбуждения свидетельствуют о количестве испарившихся нейтронов, а, следовательно, и о массовом числе конечного продукта. Такая

ситуация имеет место для неделящихся ядер. В нашем случае из-за высокого кулоновского барьера реакции и большой делимости составного ядра ($\Gamma_n/\Gamma_f \ll 1$) функции возбуждения могут быть значительно искажены.

Сечение реакции с испарением x нейтронов имеет вид

$$\sigma_{xn} = \sigma_c(E) P_x(E) \left(\frac{\Gamma_n}{\Gamma_f} \right)^x,$$

где $\sigma_c(E)$ - сечение образования составного ядра, $P_x(E)$ - вероятность испарения x нейтронов ядром с начальной энергией возбуждения E , $\left(\frac{\Gamma_n}{\Gamma_f} \right)$ - отношение нейтронной и делительной ширины, усредненное по нейтронному каскаду.

Для тяжелых ядер ($\Gamma_n/\Gamma_f \approx 0,01$) сечение образования составного ядра практически совпадает с сечением деления $\sigma_f(E) \approx \sigma_c(E) / 17$, величина $P_x(E)$ может быть получена расчетным путем, если известны температура ядра и энергии связи нейтронов. Отношение $\frac{\Gamma_n}{\Gamma_f}$ в области тяжелых ядер, как было показано в работе /17/, слабо зависит от энергии возбуждения и с удивительной степенью точности может быть определено на основе известных экспериментальных данных.

Для сравнения экспериментальных и расчетных зависимостей $\sigma_{xn}(E)$ была измерена функция возбуждения реакции $^{235}\text{U}(^{22}\text{Ne}; 5n)^{252}\text{102}$. Свойства изотопа $^{252}\text{102}$ хорошо известны: согласно /11,18/ он имеет период полураспада $2,4 \pm 0,2$ сек и примерно в 1/3 доле случаев распадается испытывает спонтанное деление. Измеренная функция возбуждения представлена на рис. 5. На этом же рисунке показана энергетическая зависимость сечения деления ^{235}U ионами ^{22}Ne . Функция $\sigma_f(E)$ найдена в хорошем согласии с известными расчетами /19/ и экспериментальными данными работы /20/. Экспериментальные результаты, полученные для реакции $^{235}\text{U}(^{22}\text{Ne}, 5n)^{252}\text{102}$, так же хорошо согласуются с расчетной функцией возбуждения (пунктирная кривая). Максимум

функции возбуждения находится при энергии ионов 117 Мэв и смещен относительно кулоновского барьера реакции $x/$ на 14 Мэв. Сечение в максимуме составляет $(1,5 \pm 0,3) \cdot 10^{-32}$ см² для ветви спонтанного деления. Ширина кривой на полувысоте равна 11 Мэв.

В последующих экспериментах /21/ была измерена энергетическая зависимость сечения реакции, приводящей к образованию нового спонтанно дегающегося изотопа с $\tau_{1/2} \approx 2$ сек. Скорость движения ленты, как и в предыдущем опыте, была выбрана равной 28 см/сек, что позволяло регистрировать осколки деления во временном интервале от 0,15 до 28 сек. Экспериментальные данные представлены на рис. 6. Пунктирными линиями показаны расчетные кривые, соответствующие испарению 4 и 5 нейтронов из возбужденного составного ядра $^{265}\text{105}$. Здесь также показана зависимость сечения деления ^{243}Am от энергии ионов ^{22}Ne . Максимум функции возбуждения для изотопа с $\tau_{1/2} \approx 2$ сек находится при энергии ионов 117 Мэв и смещен относительно кулоновского барьера реакции на 11 Мэв. Ширина кривой на полувысоте составляет 8 Мэв.

Характер функции возбуждения (рис. 6) свидетельствует о том, что наблюдаемый новый излучатель осколков спонтанного деления образуется через составное ядро с последующим испарением нейтронов и, следовательно, имеет атомный номер 105. В реакции $^{243}\text{Am}(^{22}\text{Ne}, xn)^{265}\text{-}^{2105}$ с наибольшей вероятностью будут образовываться изотопы с массой 260 и 261 (испарение из составного ядра пяти или четырех нейтронов). Для определения массового числа изотопа ($\tau_{1/2} \approx 2$ сек) необходимо иметь точные значения энергий связи испаряющихся нейтронов, так как положения максимумов функций возбуждения для реакций ($^{22}\text{Ne}; 4-5n$) отличаются на величину ≈ 5 Мэв. Отсутствие точных

$x/$ Величина кулоновского барьера реакции соответствует энергии ионов ^{22}Ne , при которой сечение деления равно 0,01 барна.

Наблюдаемый период полураспада $t_{1/2} > 20$ сек должен быть отнесен скорее всего, к α -распаду изотопа $^{258}_{103}$, и это не противоречит систематике радиоактивных свойств ядер с $Z = 103/24/$. Вместе с тем $^{258}_{103}$ наряду с α -распадом в определенной доле случаев может испытывать электронный захват ($Q_{\beta} = -2,4$ Мэв/24/), переходя в изотоп $^{258}_{102}$, который спонтанно делится.

Выводы

Из экспериментальных данных, полученных в настоящей работе, можно сделать следующие выводы:

1. При облучении $^{243}_{87}\text{Am}$ ионами $^{22}_{10}\text{Ne}$ образуется спонтанно делящийся изотоп с периодом полураспада $t_{1/2} = 1,8 \pm 0,6$ сек.
2. Из данных по угловому распределению ядер отдачи и анализа результатов контрольных экспериментов следует, что спонтанно делящийся изотоп с $t_{1/2} \approx 2$ сек имеет атомный номер 105.
3. Характер функции возбуждения свидетельствует о том, что наблюдаемый излучатель осколков спонтанного деления ($t_{1/2} \approx 2$ сек) образуется через составное ядро с последующим испарением нейтронов. Это является независимым подтверждением того, что в реакции $^{243}_{87}\text{Am} + ^{22}_{10}\text{Ne}$ синтезирован элемент с $Z = 105$. Наиболее вероятное массовое число изотопа нового элемента 261.

4. Выход спонтанно делящегося изотопа 105-го элемента соответствует сечению $5 \cdot 10^{-34}$ см². Можно предполагать, что этот изотоп преимущественно испытывает α -распад.
5. Для изотопов 103-го элемента с массовыми числами 256 и 257 период полураспада для спонтанного деления $t_{sp} > 10^5$ сек.
6. Спонтанное деление с $t_{1/2} > 20$ сек, по всей вероятности, может быть объяснено образованием изотопа $^{258}_{103}$ в реакции $^{258}_{103}\text{Ne}(\alpha, n)^{258}_{103}\text{Pu}$

значений масс ядер с $Z = 105$ неизбежно приводит к некоторой неопределенности при идентификации массового числа изотопа. Вместе с тем, если принять расчётные значения масс ядер $^{22,23}/$, то на основе анализа экспериментальных данных (положение максимума функции возбуждения относительно кулоновского барьера реакции, ширина кривой возбуждения) можно предполагать, что спонтанное деление с $t_{1/2} \approx 2$ сек относится к изотопу с массой 261.

Выход изотопа в максимуме функции возбуждения соответствует сечению $(5,0 \pm 1,5) \cdot 10^{-34}$ см², в то время как ожидаемое сечение реакции $^{243}_{87}\text{Am} (^{22}_{10}\text{Ne}, 4n)^{261}_{105}$ составляет, по нашим оценкам, $\approx 2 \cdot 10^{-33}$ см². Естественно предположить, что основным типом распада этого изотопа является α -распад ($t_{1/2} \approx 2$ сек), а парциальный период полураспада для спонтанного деления в несколько раз больше.

Общее число осколков, зарегистрированных при измерении функции возбуждения, более 300, их временное распределение представлено на рис. 7. Период полураспада изотопа 105-го элемента равен $t_{1/2} = 1,8 \pm 0,6$ сек. Как следует из рис. 7, наряду с изотопом, имеющим $t_{1/2} = 2$ сек, наблюдается образование изотопа, испытывающего спонтанное деление с $t_{1/2} > 20$ сек. Зависимость сечения образования изотопа с $t_{1/2} > 20$ сек от энергии ионов $^{22}_{10}\text{Ne}$, как видно из рис. 8, отлична от функции возбуждения реакции, протекающей с образованием составного ядра. Поэтому естественно принять, что спонтанное деление с $t_{1/2} > 20$ сек испытывает изотоп с $Z < 105$.

Поскольку реакции $(^{22}_{10}\text{Ne}, pxn)$ и $(^{22}_{10}\text{Ne}, \alpha pxn)$ маловероятны, а свойства $^{256,257}_{103}$ известны, можно предположить, что $t_{1/2} > 20$ сек относится к изотопу $^{258}_{103}$, который образуется в реакции $^{243}_{87}\text{Am} (^{22}_{10}\text{Ne}, \alpha 3n)^{258}_{103}$. Характер измеренной нами функции возбуждения реакции $^{239}_{89}\text{Pu} (^{20}_{10}\text{Ne}, \alpha 3n)^{258}_{102}$ является дополнительным подтверждением этого предположения.

Этот изотоп наряду с α -распадом может испытывать электронный захват, что приводит к образованию спонтанно делящегося ядра ²³⁸102.

Авторы благодарны В.А. Друину и А.Г. Демину за ценные замечания, К.А. Гаврилову за приготовление мишеней, Ю.В. Полулядинову за большую помощь при наладке аппаратуры и проведении опытов.

Мы благодарны группе эксплуатации ускорителя под руководством Б.А. Загера, а также Т.И. Рыбаковой, К.И. Меркиной, А.В. Сергеевой и Г.Г. Банковой за большой труд по просмотру детекторов осколков деления.

Л и т е р а т у р а

1. Г.Н. Флеров, В.А. Друин, А.Г. Демина, Ю.В. Лобанов, Н.К. Скобелев, Г.Н. Акапьев, Б.В. Фефилов, И.В. Колесов, К.А. Гаврилов, Ю.П. Харитонов, Л.П. Челюков, Препринт ОИЯИ, Р7-3808, Дубна, 1968.
2. Г.Н. Акапьев, В.А. Друин, В.И. Рудь, Г.Я. Сун Цзин-ян, Препринт ОИЯИ, Р7-4772, Дубна, 1970.
3. С.М. Lederer, A.M. Hollander, I. Perlman, Table of Isotopes. Sixth Edition, John Wiley and Sons, New York, 1967.
4. А. Капусик, В.П. Перелыгин, С.П. Третьякова. ПТЭ, 5, 72 (1964).
5. S.M. Polikanov, G. Sletten. Physics and Chemistry of Fission Symposium, Vienna, 1969; N.L. Lark, G. Sletten, J. Pedersen and S. Bjornholm. Nucl.Phys., A139, 481 (1969).
6. Ю.П. Оганесян, Ю.Э. Пенюджкевич, Со Ки Хван, А.С. Шамсутдинов, Н.С. Мальцева, И.И. Чубуркова. Препринт ОИЯИ, Р7-4637, Дубна, 1969.
7. В.А. Друин, С.А. Карамян, Ю.П. Оганесян. Препринт ОИЯИ, 1670, Дубна, 1964.
8. G.N. Simonoff and J.M. Alexander. Report UCRL-10099, 1962.
9. Г. Кумпф, Е.Д. Донец. ЖЭТФ, 44, 798 (1963).

10. В.А. Друин, Ю.В. Лобанов, Ю.П. Харитонов. Препринт ОИЯИ, Р7-4681, Дубна, 1968.
11. Ю.П. Оганесян, Ю.В. Лобанов, С.П. Третьякова, Ю.А. Лазарев, И.В. Колесов, К.А. Гаврилов, В.М. Плотко, Ю.В. Полулядинов. АЭ, 28, 393 (1970).
12. Г.Н. Флеров, Ю.П. Оганесян, Ю.В. Лобанов, Ю.А. Лазарев, С.П. Третьякова. Сообщение ОИЯИ, Р7-4832, Дубна, февраль 1970.
13. В.А. Друин. Препринт ОИЯИ, Р-874, Дубна, 1962.
14. Е.Д. Донец, В.А. Шеголев, В.А. Ермаков. АЭ, 16, 195 (1964).
15. E.D. Donets, V.A. Druin, V.L. Mikheev. Ann. Phys., 3, 331 (1968).
- Е.Д. Донец, В.А. Шеголев, В.А. Ермаков. АЭ, 19, 109 (1966).
16. J.D. Jackson. Canad. J. Phys., 34, 767 (1956).
17. T. Sikkeland. Arkiv för Fisik, 36, 539 (1966).
18. A. Chiorso, T. Sikkeland, M.J. Nurmi. Phys.Rev.Lett., 18, 401 (1967).
19. T.D. Thomas. Phys.Rev., 116, 703 (1959).
20. V. Viola, T. Sikkeland. Phys.Rev., 128, 767 (1962).
21. Г.Н. Флеров, Ю.П. Оганесян, Ю.В. Лобанов, Ю.А. Лазарев, В.И. Кузнецов, С.П. Третьякова. Сообщение ОИЯИ, Р7-5108, Дубна, май 1970.
22. A.G.W. Cameron. Canad. J. Phys., 35, 1021 (1957).
23. W.D. Myers, W.J. Swiatecki. Nucl.Phys., 81, 1 (1966).
24. V.E. Viola, G.T. Seaborg, J. Inorg.Nucl.Chem., 28, 697 (1966).

Рукопись поступила в издательский отдел

8 июня 1970 года.

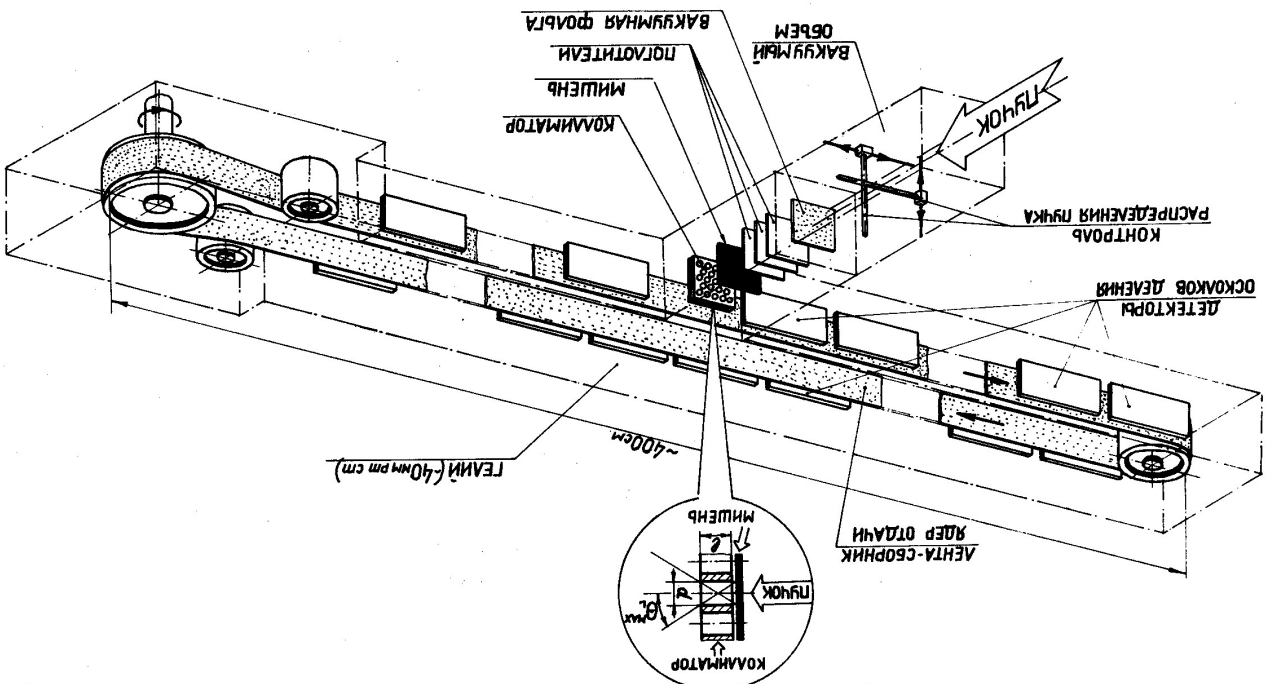


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для регистрации короткоживущих спонтанно децатирующихся ядер.

Рис. 2. Экспериментальное устройство для измерения сечений выжигания ядер лентя тяжелых ионами. Мониторинг лентя осуществляется по выходу радиоактивного изотопа ^{24}Na .

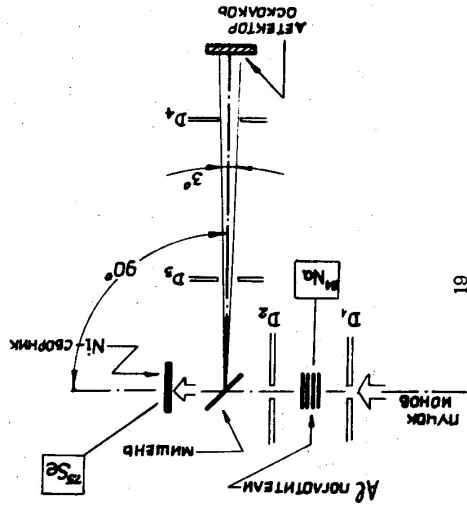
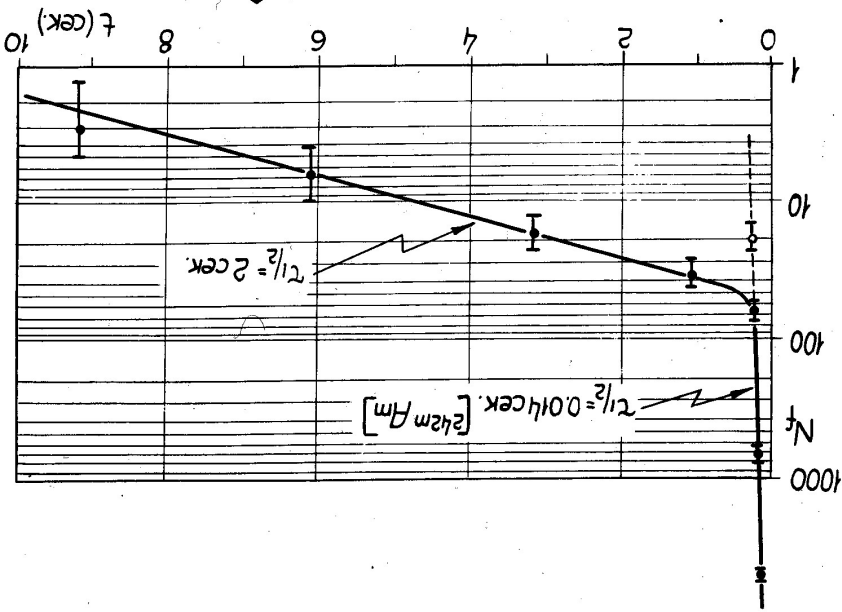


Рис. 3. Распределение по времени осколков спонтанного лентя ядр, образующихся в реакции $^{24}\text{Am} + ^{22}\text{Ne}$ при энергии ионов 114 МэВ .



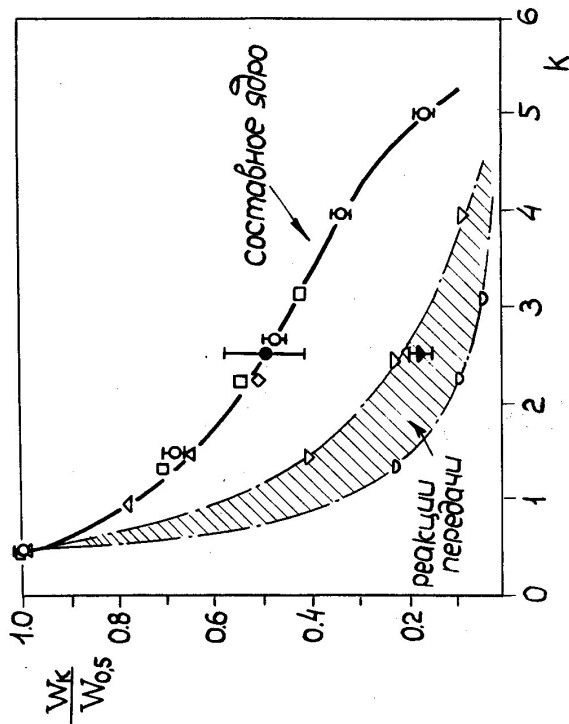


Рис. 4. Интегральные угловые распределения ядер отдачи, образующихся в реакциях полного слияния:

- - $^{197}\text{Au}(^{22}\text{Ne}, 4-5n)$ $^{213,214}\text{Ac}$,
- ◇ - $^{238}\text{U}(^{16}\text{O}, 6n)$ ^{248}Fm ,
- △ - $^{238}\text{U}(^{22}\text{Ne}, 4n)$ $^{256}\text{102}$,
- - $^{239}\text{Pu}(^{18}\text{O}, 5n)$ $^{252}\text{102}$,

и в реакциях многонуклонных передач:

- ▽ - $^{208}\text{Pb}(^{22}\text{Ne}, ^{18}\text{O})$ ^{212m}Po ,
- ◊ - $^{242}\text{Pu}(^{22}\text{Ne}, ^{22}\text{F})$ ^{242m}Am ;

$\frac{W_k}{W_{0.5}}$ - относительные выходы продуктов реакций ядер отдачи, $W_{0.5}$ - относительные выходы продуктов реакций для различных значений $^{243}\text{Am} + ^{22}\text{Ne}$. (● - для экспериментальных данных для продуктов реакции $^{243}\text{Am} + ^{22}\text{Ne}$. (▼ - для изомера ^{243m}Am , ● - для спонтанно делящегося изотопа с $T_{1/2} \approx 2$ сек).

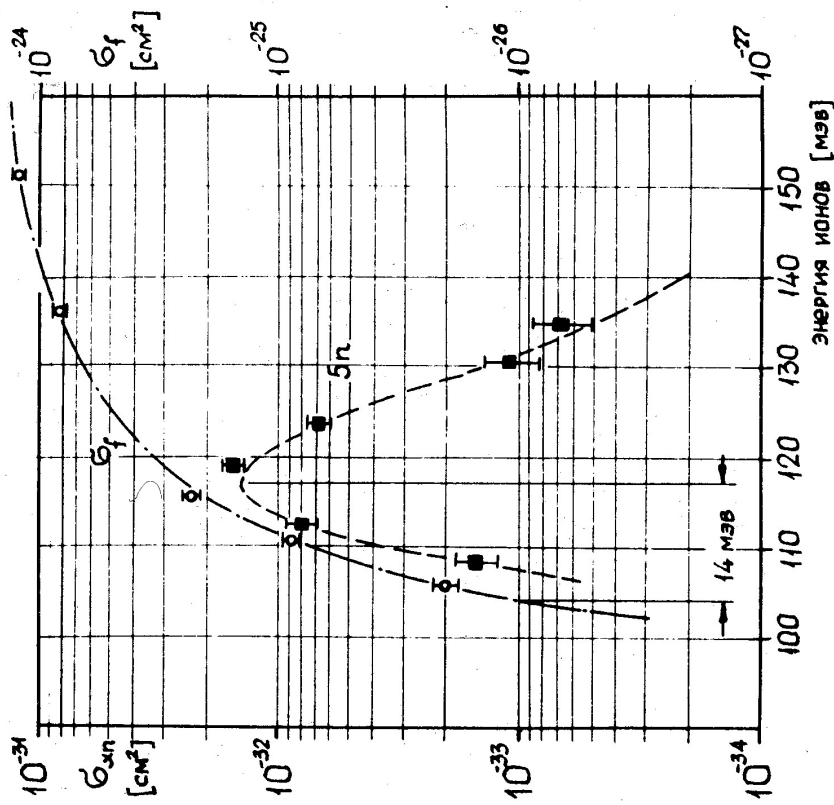


Рис. 5. Зависимость сечения образования изотопа $^{252}\text{102}$ от энергии ионов ^{22}Ne . Пунктирная кривая - расчётная функция возбуждения реакции $^{238}\text{U}(^{22}\text{Ne}, 5n)$ $^{252}\text{102}$, ● - экспериментальные значения. Штрих-пунктирная кривая (правая шкала) - расчётная зависимость сечения деления ^{238}U от энергии ионов ^{22}Ne ; ○ - экспериментальные значения.

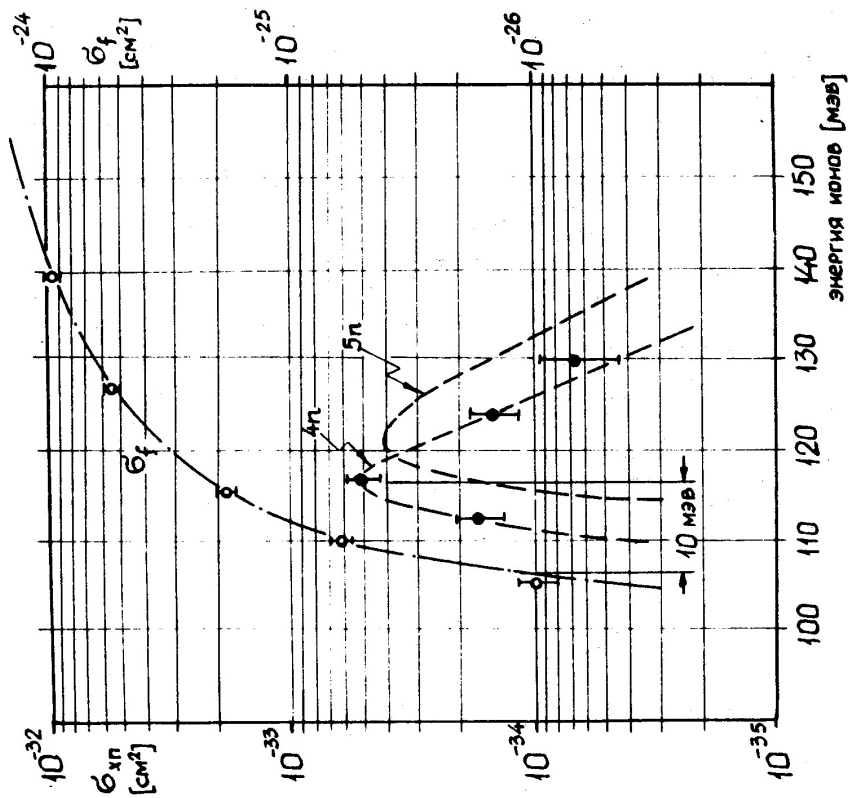


Рис. 6. Зависимость сечения образования спонтанно делящегося изотопа с $\tau_{1/2} \approx 2$ сек от энергии ионов ^{22}Ne . Пунктирные кривые – расчётные функции возбуждения реакций $^{243}\text{Am}(^{22}\text{Ne}, 4n)$ $^{261}\text{105}$ и $^{243}\text{Am}(^{22}\text{Ne}, 5n)$ $^{260}\text{105}$; ● – экспериментальные значения. Штрих-пунктирная кривая (правая шкала) – расчётная зависимость сечения деления ^{243}Am от энергии ионов ^{22}Ne ; ○ – экспериментальные значения.

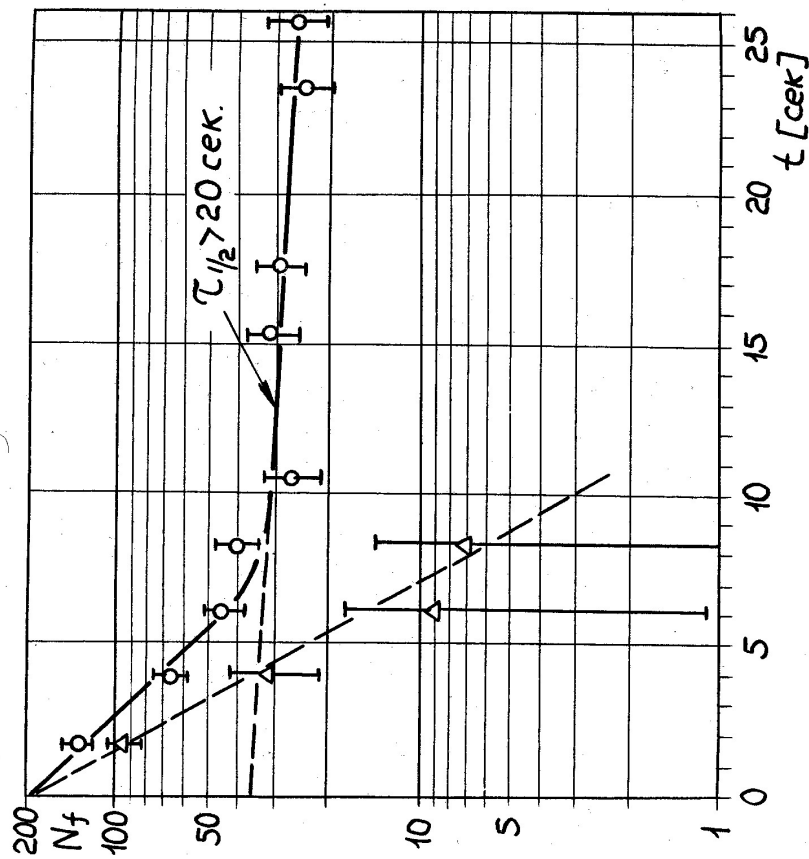


Рис. 7. Распределение по времени осколков спонтанного деления ядер, образующихся в реакции $^{243}\text{Am} + ^{22}\text{Ne}$. Представлены суммарные данные опытов, проведенных при различных энергиях ионов ^{22}Ne .

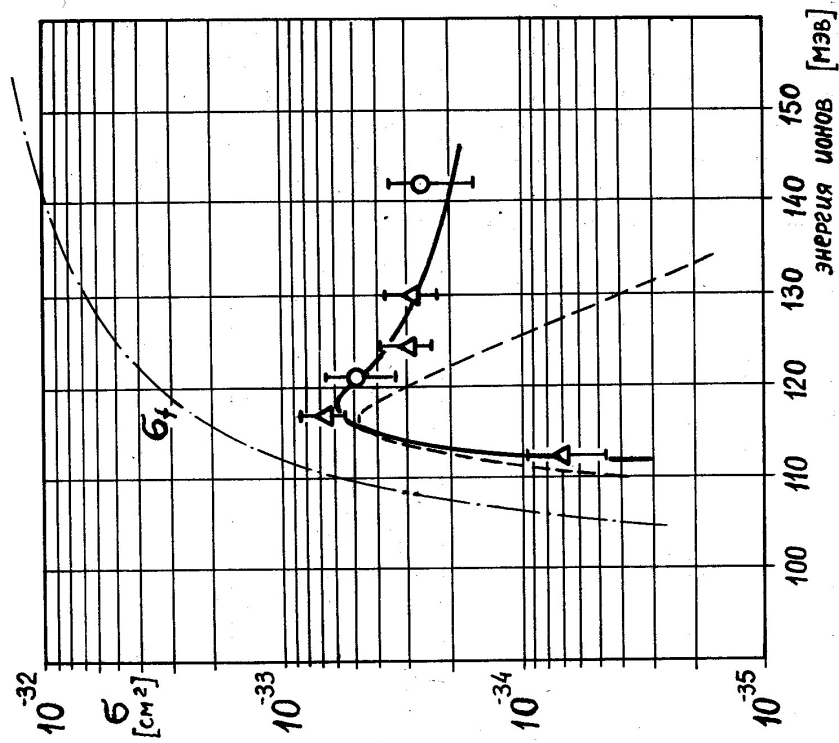


Рис. 8. Энергетическая зависимость выхода изотопа с $T_{1/2} > 20$ сек (определенная по спонтанному делению) от энергии ионов ^{22}Ne . Пунктирная кривая - функция возбуждения реакции $^{243}\text{Am}(^{22}\text{Ne}, 4n)^{261}\text{105}$; штрих-пунктирная кривая - сечение вынужденного деления ^{243}Am ионами ^{22}Ne . Δ - экспериментальные значения выхода спонтанно делящегося изотопа ($T_{1/2} > 20$ сек.); \circ - данные для изотопа $^{262}\text{102}$, образующегося в реакции $^{239}\text{Pu}(^{20}\text{Ne}, \alpha 3n)^{262}\text{102}$.