

Б-894

4939/2-76

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



13/11-76

P6 - 10010

Х.Брухертзайфер, К.А.Гаврилов, Ю.Э.Пенионжкевич,
Т.Реетц, Чой Вал Сек

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ
ЯДЕРНОЙ РЕАКЦИИ $^{238}\text{U} + ^{136}\text{Xe}$

1976

Р6 - 10010

Х.Брухертзайфер, К.А.Гаврилов, Ю.Э.Пенионжкевич,
Т.Реецц, Чой Вал Сек

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ
ЯДЕРНОЙ РЕАКЦИИ $^{238}\text{U} + ^{136}\text{Xe}$

Направлено в ЯФ

Предсказанное в ряде теоретических работ существование области стабильности сверхтяжелых элементов стало в последнее время предметом интенсивных экспериментальных исследований.

Одним из путей получения сверхтяжелых ядер является их искусственный синтез в ядерных реакциях. Идея возможности получения новых тяжелых ядер в реакциях с тяжелыми ионами, такими, как ксенон и уран, была высказана Г.Н.Флеровым еще в 1964 году /1/. С появлением пучков ускоренных ионов с $A > 40$ в Дубне, Орсе /Франция/ и Беркли /США/ были начаты эксперименты по синтезу сверхтяжелых элементов. В частности, в Дубне была предпринята попытка получить сверхтяжелый элемент в реакции $^{238}\text{U} + ^{136}\text{Xe}$, так как, согласно оценкам работы /2/, можно надеяться на получение с заметным сечением сверхтяжелого элемента в качестве осколка деления составной системы с $Z = 146$ и $N = 374$. Однако пока удалось получить лишь верхнюю границу сечения образования сверхтяжелого элемента. Французская группа /3,4/ при облучении Th и U ионами криптона с энергией 350-370 МэВ смогла найти лишь верхнюю границу образования составного ядра /<10 мбн/ и поставила под сомнение возможность образования составных систем в этих реакциях. Однако опыты, проведенные в Дубне по исследованию закономерности образования осколков деления в реакциях с ускоренными ионами Kr и Xe /5/, показали, что в реакции $^{238}\text{U} + ^{136}\text{Xe}$ при энергиях ионов 840 МэВ все же наблюдаются продукты, соответствующие осколкам симметричного деления

составной системы $^{374}_{146}$. Оценка сечения образования составной системы, основанная на этих результатах ^{/6/}, дала значения ~ 100 мбн. Последующие эксперименты по изучению с помощью радиохимической методики продуктов ядерных реакций, образующихся при взаимодействии ионов Kr /660 МэВ/ и ионов Xe /1200 МэВ/ с урановой мишенью, проведенные в Беркли /США/ ^{/7, 8/}, показали, что в случае ионов криптона с заметным сечением образуются осколки симметричного деления составной системы и сечения ее образования $\approx 40-60$ мбн. Для ионов ксенона дана лишь верхняя граница образования осколков симметричного деления составной системы $^{374}_{146} / < 20$ мб/. В связи с неоднозначностью ответа на вопрос об образовании осколков деления, а следовательно, и составных систем в реакции $^{238}\text{U} + ^{136}\text{Xe}$, имеющий исключительно важное значение в проблеме синтеза сверхтяжелых элементов, нами были проведены опыты с использованием радиохимических методик по изучению выходов различных продуктов в реакции $^{238}\text{U} + ^{136}\text{Xe}$ при энергии ионов $^{136}\text{Xe} \approx 1$ ГэВ.

ПОСТАНОВКА ОПЫТА

Толстая урановая мишень облучалась в течение 200 ч на внутреннем пучке тандем-циклотрона ЛЯР ОИЯИ ионами ксенона со средней интенсивностью 10^{10} част/с и энергией ≈ 1 ГэВ. После облучения вещество мишени подвергалось радиохимической обработке. С помощью различных радиохимических методик, описанных ниже, было проведено выделение элементов в широком диапазоне масс /см. табл. 1/. Задача радиохимического выделения усложнялась тем, что наряду с продуктами реакций передачи в районе масс ксенона и урана, образующихся с большим сечением, необходимо было выделить продукты, соответствующие осколкам симметричного деления ($A \approx 180$), сечение образования которых составляло доли миллибарна. Выбор различных элементов для выделения также определялся свойствами радиоактивного распада этих ядер, позволяющими измерять их выходы по γ - и

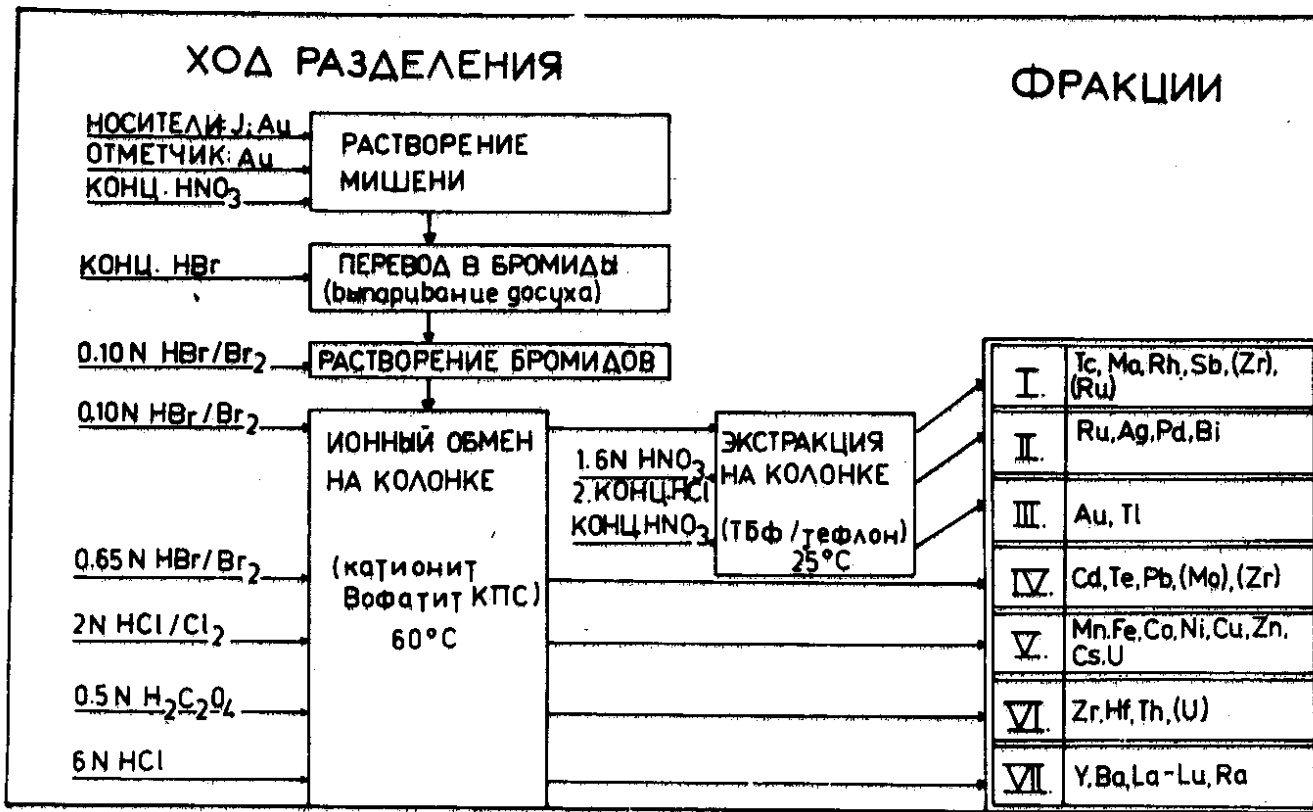


Рис. 1. Схема радиохимического разделения элементов.

X-излучению. Обычно при наличии большого количества элементов в мишени производится предварительное удаление летучих элементов и дальнейшее разделение оставшихся элементов с помощью ионного обмена или экстракции. Различные варианты разделения продуктов ядерных реакций, а также их выделение из мишеней, облученных тяжелыми ионами, были описаны в литературе /8-13/. Нами была выбрана методика разделения на катионите при помощи галогеноводородных кислот /8,14,15/. Схема радиохимического разделения элементов представлена на рис. 1.

В качестве комплексообразователя для выделения фракции VI - Hf, Zr и Th нами была использована щавелевая кислота. Это позволило с высокой степенью очистки отделить фракцию редкоземельных элементов от следовых количеств урана. Для выделения фракций Au и Tl было произведено дополнительное разделение на экстракционной колонке /трибутилфосфат, сорбированный на тефлоне/ из элюата 0,1N раствора бромистоводородной кислоты. Золото и таллий /фракция III/ вымывались последними с концентрированной азотной кислотой. В предыдущих фракциях /I, II/ кроме обозначенных в таблице элементов должны присутствовать Ir, Pt и Re.

С помощью газовой химии нами из части предварительно разделенной урановой мишени были выделены такие летучие элементы, как I, Te, Sn. При этом данная часть урановой мишени нагревалась в атмосфере N_2 в течение 60 мин. при температуре $950^\circ C$ с последующим нагреванием в токе H_2 в течение 60 мин при температуре $1100^\circ C$ и в токе O_2 в течение 60 мин при температуре $1100^\circ C$. В результате повторного разрушения решетки мишени летучие продукты удалялись и оседали на танталовых фольгах, распределенных по длине кварцевой трубки, имеющей градиент температуры.

После радиохимического выделения элементов радиоактивность полученных фракций I-VII измерялась на германиевом детекторе X-лучей и Ge(Li)-детекторе гамма-лучей. Для измерения X-лучей использовался германиевый детектор объемом 2 см^3 с разрешением - 200-350 эВ для области энергии 30-70 кэВ. Гамма-

излучение измерялось Ge(Li)-детектором эффективностью 2% и разрешением 2,5 кэВ для гамма-линии 661 кэВ. На рис. 2,3 представлены характерные спектры γ - и X-лучей седьмой фракции. Время задержки от конца облучения до начала измерения составляло 8 и 14 дней соответственно для спектров γ - и X-лучей. Идентификация изотопов производилась по энергии их X-лучей и γ -квантов, периоду полураспада и соотношению интенсивностей X- и γ -переходов. Обработка гамма-спектров производилась на ЭВМ "Минск-32". Величина абсолютного сечения образования различных изотопов определялась из интенсивностей их γ -переходов с учетом тока пучка ионов и числа работающих ядер мишени. Ток пучка ионов определялся с точностью 20% с помощью коллектора, который представлял собой изолированную мишень, а также по мониторинг реакции $^{238}\text{U} + (^{136}\text{Xe}, -\text{In}) ^{237}\text{U}$, сечение которой было определено ранее в работе /5/. Число работающих ядер рассчитывалось с учетом функции возбуждения образования составной системы в реакции $^{238}\text{U} + ^{136}\text{Xe}$ при $\tau_0 = 1,30$ Фм.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В табл. 1 представлены данные по сечениям образования различных изотопов в реакции $^{238}\text{U} + ^{136}\text{Xe}$. Как следует из анализа этих данных, наблюдаемые продукты можно разбить на четыре области масс. Первая область масс $50 < A < 100$, а также легкие редкоземельные элементы / $150 < A < 160$ / могут соответствовать продуктам деления тяжелых ядер вблизи урана, образующихся в результате реакций передач. Две области в районе масс ксенона и урана соответствуют реакциям многонуклонных передач и, наконец, область масс $170 < A < 200$ соответствует симметричному делению составной системы $^{374}146$ на два фрагмента. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что существенно возрастает сечение реакций передачи по сравнению с тем, что наблюдалось с более легкими ионами /16/. Это приводит к существенному увеличению выхода продуктов

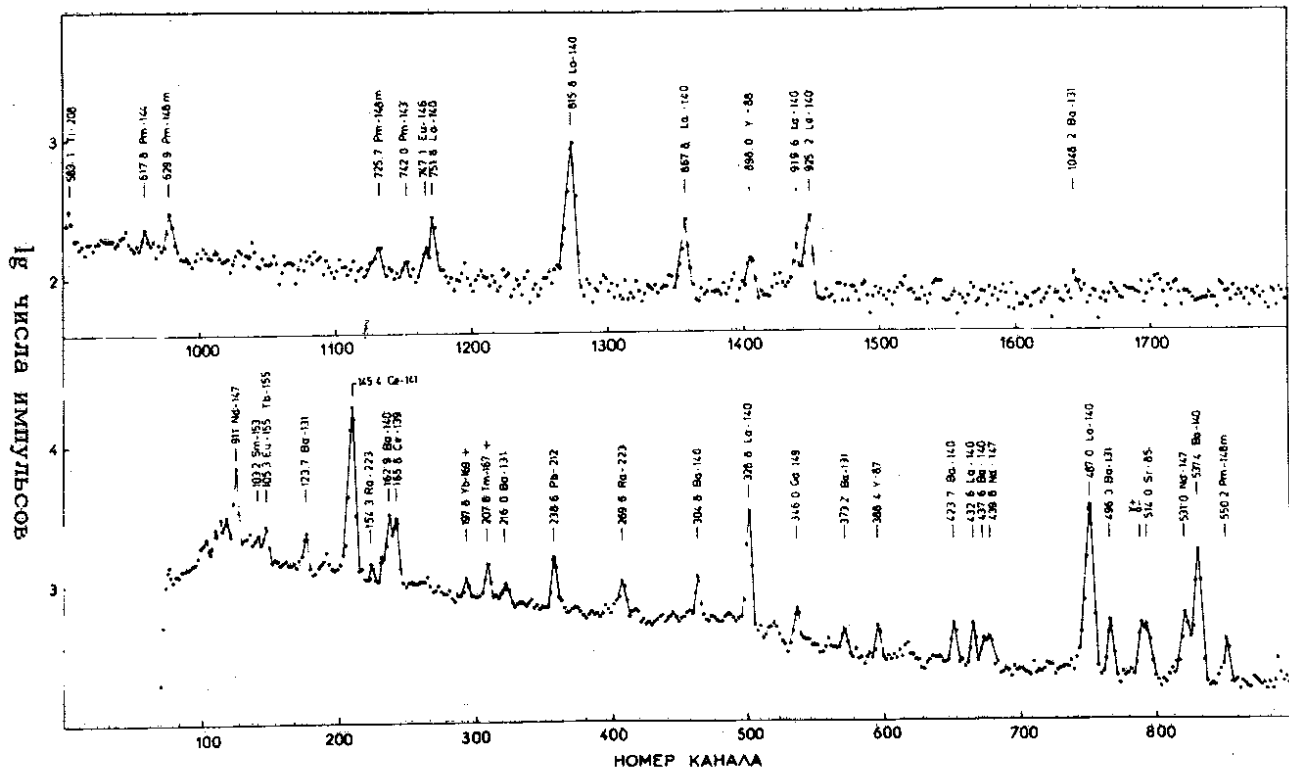


Рис. 2. Гамма-спектр фракции редкоземельных элементов.

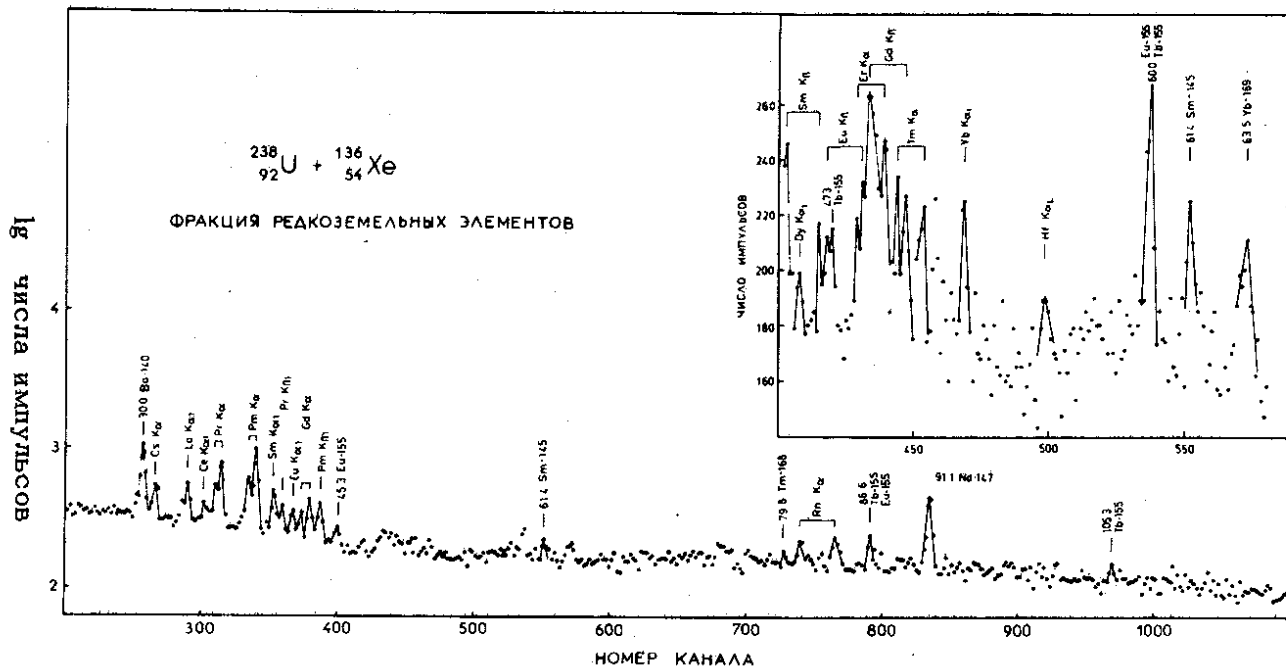


Рис. 3. Спектр характеристического рентгеновского излучения фракции редкоземельных элементов.

ТАБЛИЦА I

Сечения образования изотопов в реакции $^{238}\text{U} + ^{136}\text{Xe}$

Изотоп	Сечение /мбарн/	Изотоп	Сечение /мбарн/
^{40}Zr -88	$2,62 \text{ E-1} \pm 0,52$	^{53}J -126	$3,48 \text{ E 0} \pm 1,04$
-89	$9,94 \text{ E-2} \pm 0,30$	-130	$1,53 \text{ E 1} \pm 0,46$
-95	$1,05 \text{ E 1} \pm 0,32$	-131	$2,84 \text{ E 1} \pm 0,85$
^{42}Mo -99	$6,16 \text{ E 0} \pm 0,25$	^{55}Cs -129	$8,32 \text{ E-1} \pm 2,50$
^{44}Ru -103	$1,22 \text{ E 1} \pm 0,24$	-132	$3,04 \text{ E 0} \pm 0,61$
^{45}Rh -105	$3,88 \text{ E 0} \pm 0,78$	-134	$8,36 \text{ E 0} \pm 1,67$
^{47}Ag -105	$2,54 \text{ E-1} \pm 0,76$	-136	$1,78 \text{ E 1} \pm 0,36$
-106M	$2,92 \text{ E-1} \pm 0,73$	^{56}Ba -131	$1,14 \text{ E 0} \pm 0,28$
-110M	$7,92 \text{ E-1} \pm 1,58$	-133	$2,40 \text{ E 0} \pm 1,20$
^{48}Cd -115	$2,02 \text{ E 0} \pm 0,61$	-140	$1,21 \text{ E 1} \pm 0,24$
^{50}Sn -117M	$1,96 \text{ E 0} \pm 0,59$	^{58}Ce -139	$5,60 \text{ E 0} \pm 1,12$
^{51}Sb -120M	$6,64 \text{ E-1} \pm 1,66$	-141	$1,99 \text{ E 1} \pm 0,40$
-122	$1,01 \text{ E 0} \pm 0,20$	-143	$2,16 \text{ E 0} \pm 0,43$
-124	$4,96 \text{ E 0} \pm 0,99$	-144	$8,26 \text{ E 0} \pm 2,07$
-126	$4,08 \text{ E 0} \pm 0,82$	^{60}Nd -147	$5,76 \text{ E 0} \pm 1,73$
-127	$6,24 \text{ E 0} \pm 1,25$	^{61}Pr -143	$9,88 \text{ E-1} \pm 2,96$
^{52}Te -119M	$5,52 \text{ E-1} \pm 1,66$	-144	$1,01 \text{ E 0} \pm 0,30$
-121M	$1,73 \text{ E 0} \pm 0,35$	-148M	$1,04 \text{ E 0} \pm 0,31$
-121	$1,66 \text{ E 0} \pm 0,33$	^{64}Gd -149	$1,23 \text{ E-1} \pm 0,62$
-123M	$2,44 \text{ E 0} \pm 0,49$	^{65}Tb -153	$2,96 \text{ E-1} \pm 0,89$
-129M	$3,72 \text{ E 1} \pm 1,12$	-155	$7,60 \text{ E-1} \pm 1,52$
-131M	$2,70 \text{ E-1} \pm 0,81$	-156	$7,48 \text{ E-1} \pm 2,99$
-132	$4,48 \text{ E 0} \pm 0,90$	-160	$5,50 \text{ E-1} \pm 1,92$

Изотоп	Сечение /мбран/	Изотоп	Сечение /мбран/
^{69}Tm -I67	$3,20 \text{ E-I} \pm 0,96$	^{79}Au -I96	$1,38 \text{ E-I} \pm 0,28$
-I68	$2,12 \text{ E-I} \pm 1,48$	-I98M	$5,02 \text{ E-2} \pm 1,00$
^{70}Yb -I69	$3,12 \text{ E-I} \pm 0,94$	-I98	$8,42 \text{ E-2} \pm 1,68$
^{71}Lu -I71	$1,96 \text{ E-I} \pm 0,49$	-I99	$6,32 \text{ E-2} \pm 1,26$
-I72	$1,10 \text{ E-I} \pm 0,77$	^{81}Te -200	$3,50 \text{ E-I} \pm 0,70$
^{72}Hf -I71	$1,73 \text{ E-I} \pm 0,86$	-201	$5,54 \text{ E-I} \pm 1,11$
-I73	$1,37 \text{ E-I} \pm 0,55$	-202	$2,16 \text{ E-I} \pm 0,43$
-I75	$2,06 \text{ E-I} \pm 0,82$	^{82}Pb -203	$4,26 \text{ E-I} \pm 1,28$
-I81	$5,14 \text{ E-2} \pm 2,57$	^{83}Bi -204	$2,40 \text{ E-I} \pm 0,48$
^{79}Au -I93	$1,70 \text{ E-I} \pm 0,51$	^{85}At -210	$1,81 \text{ E 0} \pm 0,63$
-I94	$1,23 \text{ E-I} \pm 0,25$	^{88}Ra -223	$1,91 \text{ E 0} \pm 0,67$
-I96M	$7,06 \text{ E-2} \pm 3,53$	^{92}U -237	$7,38 \text{ E I} \pm 1,48$

вблизи масс ядра частицы и мишени, а также в области масс $A < 100$. Этот факт отмечался ранее в работах ^{/16/}. Однако наряду с этим наблюдается образование изотопов, соответствующих симметричному делению составной системы $^{37}_{4}146$ /см. таблицу/. Полученные сечения по порядку величины согласуются с тем, что наблюдалось ранее, например, в работе ^{/17/}, однако выход нейтроноизбыточных изотопов для данной энергии ксенона несколько ниже, чем для энергии 850 МэВ, что может объясняться испарением большего числа нейтронов из более возбужденных ядер. На основе данных о сечениях образования изотопов Tm, Yb, Lu, Hf и Au, Tl, Pb, Bi нами были построены изотопные распределения начальных продуктов до испарения нейтронов при использовании обычных в случае деления возбужденных составных ядер предположений /изотопные распределения имеют вид симметричных кривых типа гауссовских, максимум изотопного распределения A_p рассчитывается по гипотезе равного смещения заряда, число нейтронов, испарившихся из возбужденных осколков, пропорционально их массе. Поправка на кумулятивность рассчитывалась так же, как в работе ^{/18/}.

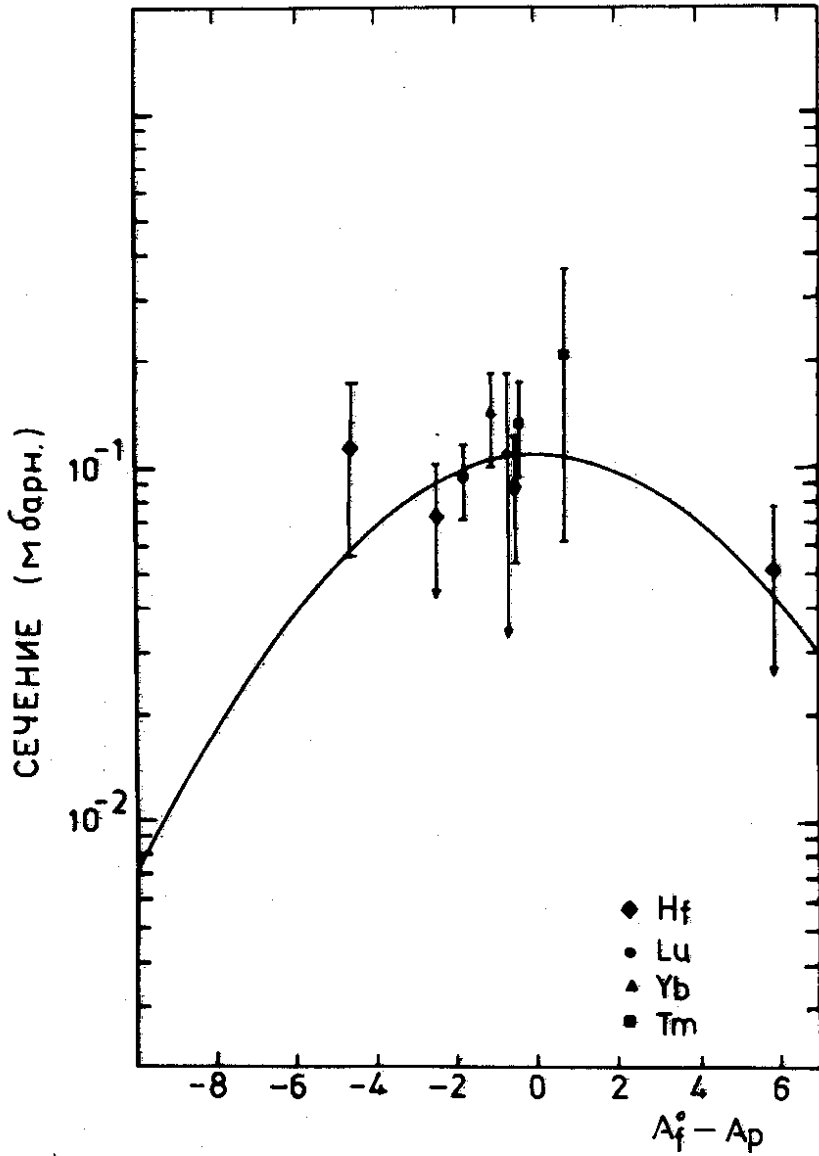


Рис. 4. Изотопные распределения (Тm-Hf).

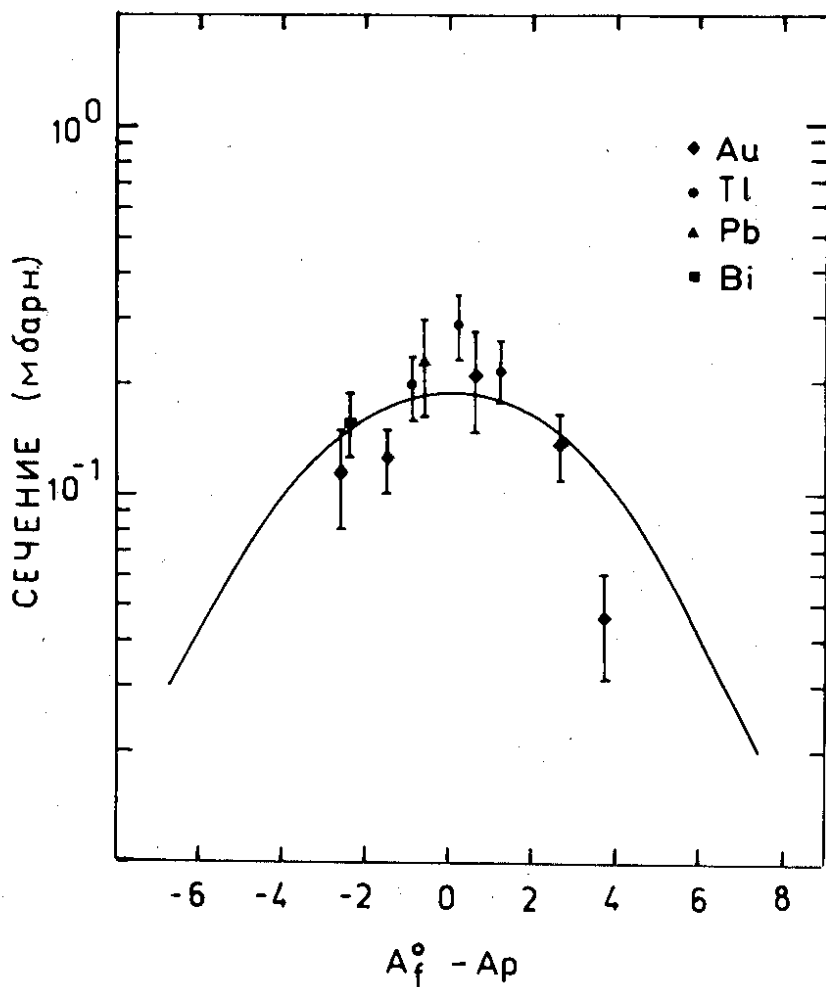


Рис. 5. Изотопные распределения (Au-Bi). Сплошная кривая - данные работы /5/.

Изотопные распределения продуктов реакции $^{238}\text{U} + ^{136}\text{Xe}$ для двух областей ядер (Tm-Bf) и (Au-Bi) представлены на рис. 4,5. Экспериментальные результаты с хорошей точностью описываются гауссовскими кривыми типа $W(A, A_p) \sim e^{-\frac{(A_f - A_p)^2}{2\sigma_A^2}}$ с максимумом, соот-

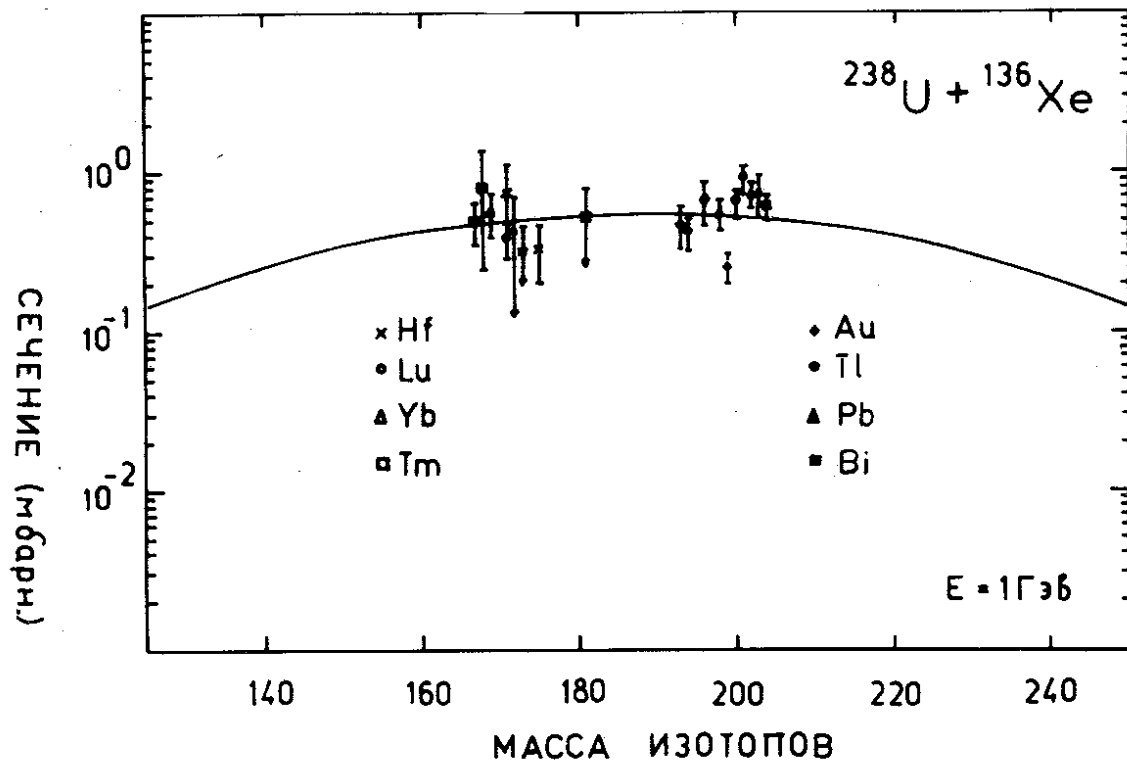


Рис. 6. Массовое распределение осколков деления составной системы $^{37}_{41}\text{Lu}$ образующейся в реакции $^{238}\text{U} + ^{136}\text{Xe}$.

ветствующим наиболее вероятной массе данного изотопа (A_p), вычисленной по гипотезе равного смещения заряда. Параметры ширины распределения ($2\sigma_A^2$), равных 35 и 26, а полное число нейтронов, испарившихся из обоих осколков, которое является варьируемым параметром при построении изотопных распределений, равно 18 и 16 для (Tm-Hf) и (Au-Bi) соответственно. С использованием данных об изотопных распределениях нами было построено массовое распределение продуктов, соответствующих области симметричного деления (Tm-Bi). Оно представлено на рис. 6. Через экспериментальные точки проведена симметричная гауссовская кривая с вершиной, соответствующей половинной массе составного ядра для реакции $^{238}\text{U} + ^{136}\text{Xe}$ и шириной $\Delta A_f \approx 100$, полученной в работе /6/. Видно, что эта кривая удовлетворительно описывает полученные экспериментальные точки. Вычисленное путем интегрирования по всем массам сечение реакции, идущей с образованием симметричных фрагментов, $\sigma_{2f} \approx 30$ мбн. Полученные результаты еще раз свидетельствуют о том, что в реакции $^{238}\text{U} + ^{136}\text{Xe}$ с заметным сечением образуются продукты, соответствующие осколкам симметричного деления составной системы $^{374}_{146}$. Механизм их образования схож с механизмом образования осколков при делении возбужденного составного ядра на два осколка.

В заключение авторы считают своим долгом поблагодарить академика Г.Н.Флерова за внимание к данной работе и ценные советы, способствующие ее завершению. Мы благодарны также И.Зваре, Ю.Ц.Оганесяну и Г.М.Тер-Акопяну за полезные замечания и обсуждения результатов данной работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. G.N.Flerov, V.A.Karnaukhov. C.Rendus du Congres Intern. de Phys. Nucl., 2.-8. Juli 1964, v. I. p. 373.
2. С.А.Карамян, Ю.Ц.Оганесян. ОИЯИ, P7-4339, Дубна, 1969.

3. M.Lefort, Y.LeBeyec, J.Peter. IPNO-RC-73-04, Orsay, 1973.
4. M.Lefort, C.Ngo, J.Peter, B.Tamain. IPNO-RC-73-06, Orsay, 1973.
5. Ю.Ц.Оганесян, Ю.Э.Пеннионжкевич, Нгуен Так Ань, А.Ададек, Нго Куок Быу, Нгуен Монг Шинь, ЯФ, 2, 245, 1974.
6. Ю.Ц.Оганесян, Ю.Э.Пеннионжкевич. ОИЯИ, Е7-9187, Дубна, 1975.
7. R.J.Otto, M.M.Fowler, D.Lee, G.T.Seaborg. Phys.Rev.Lett., 3, 135, 1976.
8. J.V.Kratz, J.O.Liljenzin, G.T.Seaborg. Inorg. Nucl. Chem.Lett., 10, 951, 1974.
9. Е.В.Егоров, С.Б.Макарова. Ионный обмен в радиохимии, Москва, Атомиздат, 1971.
10. Методы радионуклидного анализа продуктов нейтронной активации и деления, Москва, Атомиздат, 1973.
11. Б.А.Гвоздев, Е.Тырл, С.Ионеску, К.Сабэу, С.Спиридон. ОИЯИ, 6-3867, Дубна, 1968.
12. E.P.Horwitz, C.A.A.Bloomquist. Inorg.Nucl.Chem., 37, 425, 1975.
13. W.Brüchele, G.Tittel, N.Trautmann, M.Zendel. 5th Intern. Conf. on Plutonium and Other Actinides, Baden-Baden, 1975.
14. F.Nelson, D.C.Michelson, J.Chromatogr. 25, 414, 1966.
15. F.Nelson, T.Murase, K.A.Kraus. J.Chromatogr., 13, 503, 1964.
16. Ю.Ц.Оганесян, Ю.Э.Пеннионжкевич, А.О.Шамсутдинов. ЯФ, 1, 54, 1971.
17. Ю.Ц.Оганесян, О.А.Орлова, Ю.Э.Пеннионжкевич, К.А.Гаврилов, Ким Де Ен. ЯФ, 2, 249, 1972.
18. Ю.Ц.Оганесян, Ю.Э.Пеннионжкевич, А.О.Шамсутдинов, Н.С.Мальцева, И.И.Чубуркова, З.Щегловски. ОИЯИ, Р7-4538, Дубна, 1969.

*Рукопись поступила в издательский отдел
30 июля 1976 года.*