

П-60

98

7



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

С.М. Поликашов, А.В. Друин, В.А. Карнаухов, В.Л. Михеев,
А.А. Плева, Н.К. Скобелев, В.Г. Субботин, Г.М. Тер-Акопян, В.А. Фомичев

P - 898

СПОНТАННОЕ ДЕЛЕНИЕ
С АНОМАЛЬНО КОРОТКИМ ПЕРИОДОМ. I
ЖЭТФ, 1962, т.42, в.6, с.1464-1471.

С.М. Поликанов, А.В. Друин, В.А. Карнаухов, В.Л. Михеев,
А.А. Плева, Н.К. Скобелев, В.Г. Субботин, Г.М. Тер-Акопьян, В.А. Фомичев

P - 898

СПОНТАННОЕ ДЕЛЕНИЕ
С АНОМАЛЬНО КОРОТКИМ ПЕРИОДОМ.1

1322/1, 132.

Объединенный институт
ядерной энергии
Библиотека

В в е д е н и е

Нестабильность большинства изотопов трансурановых элементов обусловлена альфа-распадом. Однако для наиболее тяжелых изотопов очень сильно растет также и вероятность спонтанного деления. Есть основания ожидать, что граница области изотопов сверхтяжелых элементов, доступных экспериментальному исследованию, будет определяться их устойчивостью по отношению к спонтанному делению^{/1/},

В связи с этим большой интерес представляет изучение основных закономерностей спонтанного деления ядер.

Большинство изотопов, у которых наблюдалось спонтанное деление, получено на ядерных реакторах. Из них наименьшим периодом спонтанного деления обладает Fm^{256} /2,7 часа/.

Получение на ускорителях интенсивных пучков тяжелых ионов сделало возможным получение новых изотопов тяжелых элементов, которые могут испытывать спонтанное деление. Однако времена жизни этих изотопов могут быть столь малыми, что изучение их свойств сопряжено с известными экспериментальными трудностями. Поэтому до настоящего времени отсутствуют данные о спонтанном делении таких изотопов.

В настоящей работе описаны эксперименты по поиску короткоживущих спонтанно делящихся ядер, образующихся при облучении U^{238} ионами Ne^{22} и O^{16} .

Методика эксперимента

Опыты проводились на внутреннем пучке 300 см циклотрона ОИЯИ, ускоряющего тяжелые ионы. Для регистрации осколков деления применялась аппаратура, схематически изображенная на рис. 1. Пучок ионов бомбардировал алюминиевую фольгу /1/ толщиной 5,8 мк, на которую был нанесен тонкий слой U^{238} /1 мг/см²/. Продукты ядерных реакций, получающие большой импульс, выбивались из урановой мишени и попадали на вращающийся сборник /2/.

Сборник представлял собой кольцо из алюминиевой фольги, укрепленное на тонком диске из нержавеющей стали. Осколки спонтанного деления ядер, попавших на сборник, регистрировались с помощью двух ионизационных камер /3/.

Отличительной особенностью камер являлось то, что их собирающие электроды были выполнены в виде систем из пяти нитей, расположенных в средних плоскостях камер, перпендикулярных магнитному полю. Такая конструкция камер обеспечивала высокую эффективность регистрации осколков спонтанного деления в магнитном поле напряженностью 18 Кэ. Входные окна камер /4/ закрывались тонкой /0,1-0,2 мк/ капроновой пленкой, запыленной серебром. В аппаратуре было предусмотрено устройство /5/, позволявшее в рабочих условиях калибровать камеры по осколкам деления U^{238} нейтронами от Po-Be источника.

Вся показанная на рис. 1 аппаратура находилась внутри охлаждаемого водой кожуха, объем которого был отделен от камеры циклотрона тонкой вакуумной фольгой /3 мк Ni/. Через эту фольгу пучок ионов проходил внутрь кожуха и попадал на мишень. Весь внутренний объем кожуха заполнялся смесью газов следующего состава: Ar - 60%, N₂ - 10%, H₂ - 30%. Общее давление газовой смеси, служившей рабочим газом для камер и дополнительным охладителем для мишени, составляло 150 мм рт. ст.

Бомбардирующие ионы, прошедшие через мишень и сборник, останавливались в коллекторе из тантала /6/, соединенном с измерителем тока, позволявшим следить за интенсивностью пучка в процессе облучения.

Блок-схема электронной аппаратуры показана на рис. 2. Импульс от камеры подавался на катодный повторитель /КП/, смонтированный на торце камеры. Далее, через пятиметровый кабель импульс потупал в предусилитель /ПУ/ с коэффициентом усиления 100 и затем в основной усилитель /У/ /коэффициент усиления \sim 2000/. После линии задержки /2 мксек/, линейной схемы пропускания, ограничителя и затяжки импульс регистрировался самописцем ЭПП-09. Схема пропускания управлялась системой запрета таким образом, что запрещалась регистрация эффекта во время подачи высокочастотного напряжения на

дуанты /циклотрон работал в импульсном режиме/. После схемы пропускания имелся выход на многоканальный амплитудный анализатор АИ-100. Контроль стабильности работы всей электронной аппаратуры осуществлялся с помощью генератора, подключавшегося на вход катодных повторителей.

При разработке выносного каскада /КП/, работающего в магнитном поле напряженностью ~ 18 кэ, были встречены затруднения. Они были вызваны тем, что электроды ламп изготовлены из магнитных материалов и поэтому подвержены действию значительных механических сил при помещении ламп в поле. Для ряда ламп это приводило к тому, что через некоторое время они фактически выходили из строя. Наиболее удовлетворительно работали катодные повторители на лампах 6СЗП. При помещении их в магнитное поле с напряженностью 18 кэ коэффициент передачи уменьшался не более, чем на 10%.

Работа с ионизационными камерами внутри циклотрона вынудила нас принять ряд мер по снижению уровня электрических помех. Была проведена тщательная, в некоторых случаях - двойная, экранировка отдельных каскадов установки и соединительных кабелей. Питание катодных повторителей осуществлялось от батарей и аккумуляторов.

Дополнительная защита от помех осуществлялась системой взаимной блокировки, не пропускавшей импульсы, появившиеся одновременно в обеих камерах.

Испытания радиотехнической аппаратуры, проведенные в рабочих условиях, показали, что радиотехнические помехи практически отсутствуют /за 20 часов не был зарегистрирован ни один импульс/.

Результаты экспериментов

При облучении U^{238} ионами Ne^{22} и O^{16} были зарегистрированы импульсы, совпадающие по амплитуде с импульсами от осколков деления U^{238} нейтронами полоний-бериллиевого источника. Максимальный эффект составлял 10-15 имп/час при токе ионов около 1 мка. Скорость вращения собирающего диска в этих опытах составляла 800 об/мин, либо 1400 об/мин. Независимо

от направления вращения больший эффект всегда получался на той камере, в направлении которой /от мишени/ вращался диск.

Спектр наблюдавшихся импульсов, полученный с помощью многоканального амплитудного анализатора, приведен на рис. 3 вместе со спектром импульсов от осколков деления U^{238} нейтронами.

Для определения пробега частиц, дающих импульсы большой амплитуды, использовались алюминиевые поглотители толщиной 0,6 мк, 5,8 мк и 11,2 мк, которыми последовательно закрывалось входное окно одной камеры. Фольга толщиной 0,6 мк практически не изменила количества регистрируемых импульсов /10-15 имп/час/, с фольгой 5,8 мк регистрировался 1 имп/час, с фольгой 11,2 мк не было зарегистрировано ни одного импульса в течение 2 часов. Если учесть геометрию опыта, то из полученных данных следует вывод, что интересные нас частицы имеют пробег ~ 10 мк *Ав.*

Таким образом, и спектр импульсов, и данные по пробегу указывают на то, что наблюдаемый эффект связан с осколками деления.

Были также проведены дополнительные опыты по наблюдению совпадений импульсов от осколков, возникающих в одном акте распада. Для этого были произведены некоторые изменения в аппаратуре. В качестве сборника бралась алюминиевая фольга толщиной 2,5 мк. Напротив одной из ионизационных камер /рис. 1/ по другую сторону от диска была установлена аналогичная камера. Электронная схема была перестроена таким образом, чтобы регистрировать совпадения импульсов от этих камер с одновременной подачей на самописец импульсов с каждого канала.

После указанной перестройки аппаратуры было проведено облучение U^{238} ионами O^{16} , во время которого были зарегистрированы совпадения импульсов в двух камерах. При этом фон от случайных совпадений был пренебрежимо мал.

Сумма всех этих данных давала нам уверенность в том, что при взаимодействии ионов O^{16} и Ne^{22} с U^{238} образуется спонтанно-делящийся изотоп. Этот вывод был проверен и подтвержден в опытах, в которых в качестве детектора ионизирующего излучения использовались ядерные фотоэмульсии. Подробное описание этих экспериментов дано в ^{12/}.

В таблице 1 показаны результаты измерений, которые дают представление о зависимости выхода спонтанно-делящегося изотопа от энергии ионов, а также позволяют оценить его период полураспада. Изменение энергии бомбардирующих частиц достигалось перемещением мишени по радиусу камеры циклотрона. Энергия ионов измерялась по пробегу в алюминии^{13/}. Первой камерой мы называем ту, в сторону которой /от мишени/ вращался диск.

Т а б л и ц а 1

Облучение	$U^{238} + Ne^{22}$					$U^{238} + O^{16}$			
	105	124	135	139	139	80	96	104	111
Энергия ионов на слое U^{238} в МэВ	105	124	135	139	139	80	96	104	111
Полный поток ионов, прошедших через мишень в мка х час.	10,0	2,0	2,5	2,5	6,8	2,0	0,5	0,5	1,0
Число импульсов на первой камере	0	4	24	26	69	0	4	10	18
Число импульсов на второй камере	0	2	3	5	39	0	0	1	6
Скорость вращения собирающего диска об/мин.	800	800	800	800	1400	800	800	800	1400

Построенные по данным таблицы 1 функции возбуждения для реакций, приводящих к спонтанно-делящемуся ядру, показаны на рис. 4,5. Выход представлен в относительных единицах. Абсолютные значения сечений для ионов с максимальной энергией, по оценкам, равны $\sim 3 \cdot 10^{-32} \text{ см}^2 / U^{238} + O^{16}$, $\sim 2 \cdot 10^{-32} \text{ см}^2 / U^{238} + Ne^{22}$.

Период полураспада нетрудно оценить, зная скорость вращения диска и соотношение числа импульсов, зарегистрированных первой и второй камерой. Если допустить, что эффективности регистрации для обеих камер одинаковы, то

$$T_{1/2} = \Delta t \frac{0,69}{\ln \frac{N_1}{N_2}}, \text{ где}$$

Δt - время перемещения фиксированной точки на диске от начала окна первой камеры до начала окна второй;

N_1 и N_2 - число импульсов, зарегистрированных первой и второй камерами. В действительности эффективности камер могли несколько различаться. Во избежание ошибки, связанной с этим, проводилось геометрическое усреднение отношения $\frac{N_1}{N_2}$ по данным, полученным при вращении диска в разные стороны. При таком усреднении разница в эффективности регистрации не важна. Оказалось, что период полураспада спонтанно-делящегося изотопа, получающегося при облучении U^{238} неонием, равен $T_{1/2} = 1,2 \pm 1/10 \cdot 10^{-2}$ сек. Изотоп, возникающий при облучении U^{238} кислородом, имеет период полураспада $T_{1/2} = 1,3 \pm 0,8/10 \cdot 10^{-2}$ сек. В пределах точности оба значения совпадают.

При облучении Th^{232} ионами Ne^{22} осколков спонтанного деления обнаружено не было. Отсюда следует, что сечение соответствующей реакции здесь, по крайней мере, в 20 раз меньше, чем в случае реакции $U^{238} + O^{16}$.

Обсуждение результатов

Полученные экспериментальные данные показывают, что при облучении U^{238} ионами O^{16} и Ne^{22} образуется изотоп, распадающийся путем спонтанного деления за очень малое время. Мы не можем, конечно, утверждать, что имеем дело с одним изотопом, однако, вывод о существовании короткоживущего ядра не изменится, даже если дальнейшие опыты покажут, что в наших экспериментах получалось несколько спонтанно-делящихся изотопов.

На рис. 4,5 изображены кривые, показывающие зависимость выхода изотопа от энергии ионов O^{16} и Ne^{22} . К сожалению, нам не удалось определить выход при больших энергиях ионов O^{16} , поэтому пока нельзя сказать, имеет ли место в этом случае реакция с испусканием только нейтронов. По виду кривых трудно сделать сколько-нибудь надежные выводы об атомном номере и массе изотопа. Можно лишь сказать, что атомный номер не больше 100, а также указать область изотопов, которые могут получаться при взаимодействии тяжелого иона с U^{238} .

При этом естественно опираться на опыты с более легким ионом O^{16} . На рис. 6 показана взятая из ^{/4/} систематика периодов полураспада для известных спонтанно-делящихся изотопов элементов от Th до Fm , построенная с учетом последних данных. Заштрихована область, внутри которой полагаются изотопы, получающиеся при облучении U^{238} кислородом. Конечно, на самом деле, среди первичных продуктов реакций будет несколько меньше ядер, чем охватывает заштрихованная область, однако, мы старались учесть все возможные реакции, независимо от их вероятности. Для Th , U , Pu границы области определены приблизительно, так как реакции обмена нуклонами, которые могут привести к этим элементам, изучены мало. Что касается изотопов Fm и Cf , то возможные для них значения масс оценены более точно.

Из рис. 6 видно, что наиболее короткие времена жизни в отношении спонтанного деления имеют изотопы фермия. Однако, даже для них ожидаемый период полураспада значительно больше, чем 0,02 сек. Отношение ожидаемого для Fm времени жизни к измеренному нами $\frac{T_{sf}(Fm)}{T} \geq 5 \cdot 10^{10}$. Время жизни изотопов фермия в отношении α -распада также гораздо больше, чем 0,02 сек: $\frac{T_{\alpha}(Fm)}{T} \geq 10^3$. Для изотопов других элементов времена жизни еще значительно превышают время жизни полученного изотопа. Это сравнение показывает, что обнаруженное в наших опытах ядро имеет аномально короткое время жизни относительно спонтанного деления и поэтому резко выпадает из существующей систематики тяжелых ядер. Однако, следует иметь в виду, что систематика свойств тяжелых ядер относится к основным состояниям ядер. Если же ядро находится в возбужденном состоянии, то вероятность распада может измениться. Поэтому мы полагаем, что в описанных экспериментах регистрировалось спонтанное деление возбужденного ядра. Представляется наиболее вероятным, что при взаимодействии O^{16} и Ne^{22} с U^{238} образуется некий изотоп в изомерном состоянии, причем в таком, для которого барьер деления понижен.

Если допустить, что это изотоп фермия, то вероятность деления изомера увеличена примерно в $5 \cdot 10^{10}$ раз по сравнению с основным состоянием.

Нельзя, конечно, исключить, что время жизни относительно спонтанного деления существенно больше, чем 0,02 сек, а измеряемый период полураспада обусловлен α -распадом. Однако, сечения образования фермия при облучении U^{238} ионами O^{16} не превышают $10^{-30} \text{ см}^{2/5}$. А это значит, что скорость α -распада интересующего нас изотопа не более, чем в 30 раз превышает скорость его спонтанного деления /т.к. выход этого изотопа по спонтанному делению соответствует $\sim 3 \cdot 10^{-32} \text{ см}^2$ /. Отсюда следует, что даже в этом случае для изомера фермия необходимо предположить увеличение вероятности спонтанного деления не меньше, чем в 10^9 раз. Если говорить об изотопах других элементов, то для них это увеличение будет еще больше.

Следует отметить, что уже наблюдалось появление изомеров с аномальными свойствами в реакциях с тяжелыми ионами. В^{16/} был получен α -активный изомер с чрезвычайно высоким коэффициентом запрета для α -распада.

Полученных данных пока недостаточно, чтобы делать какие-либо заключения о природе изомерного состояния ядра с повышенной вероятностью спонтанного деления.

Может быть для изомера, полученного в наших опытах, сильно проявляется влияние однонуклонных состояний на барьер деления. В рамках модели спонтанного деления, предложенной Юхансеном^{17/}, такой эффект возможен. Действительно, для изомера, у которого последний нуклон находится на уровне с энергией, резко уменьшающейся при деформации, барьер деления будет понижен.

Нельзя также считать исключенным существование изомерных состояний с энергией выше барьера деления, обусловленных сильной деформацией ядра. Так, в работе Хилла и Уилера^{18/} высказывалось предположение о том, что для ядер, стабильной формой которых является вытянутый эллипсоид вращения, форма сплюснутого эллипсоида вращения может оказаться изомерной.

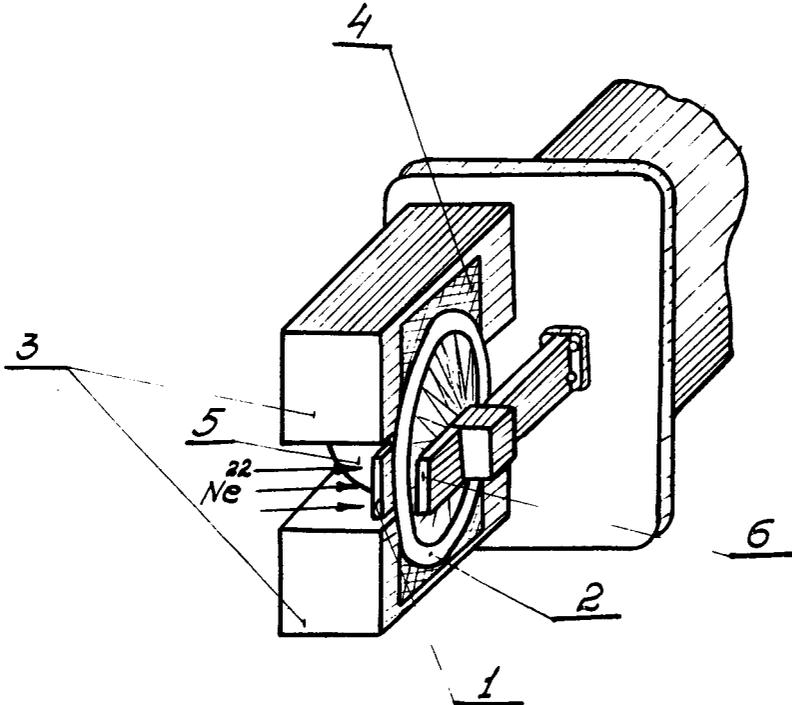
Время жизни такого изомера будет определяться вероятностью перехода из формы сплюснутого эллипсоида в форму вытянутого.

Мы надеемся, что дальнейшие опыты, направленные на надежную идентификацию полученного изотопа и установление характеристик его изомерного состояния, позволят установить причину увеличения вероятности спонтанного деления.

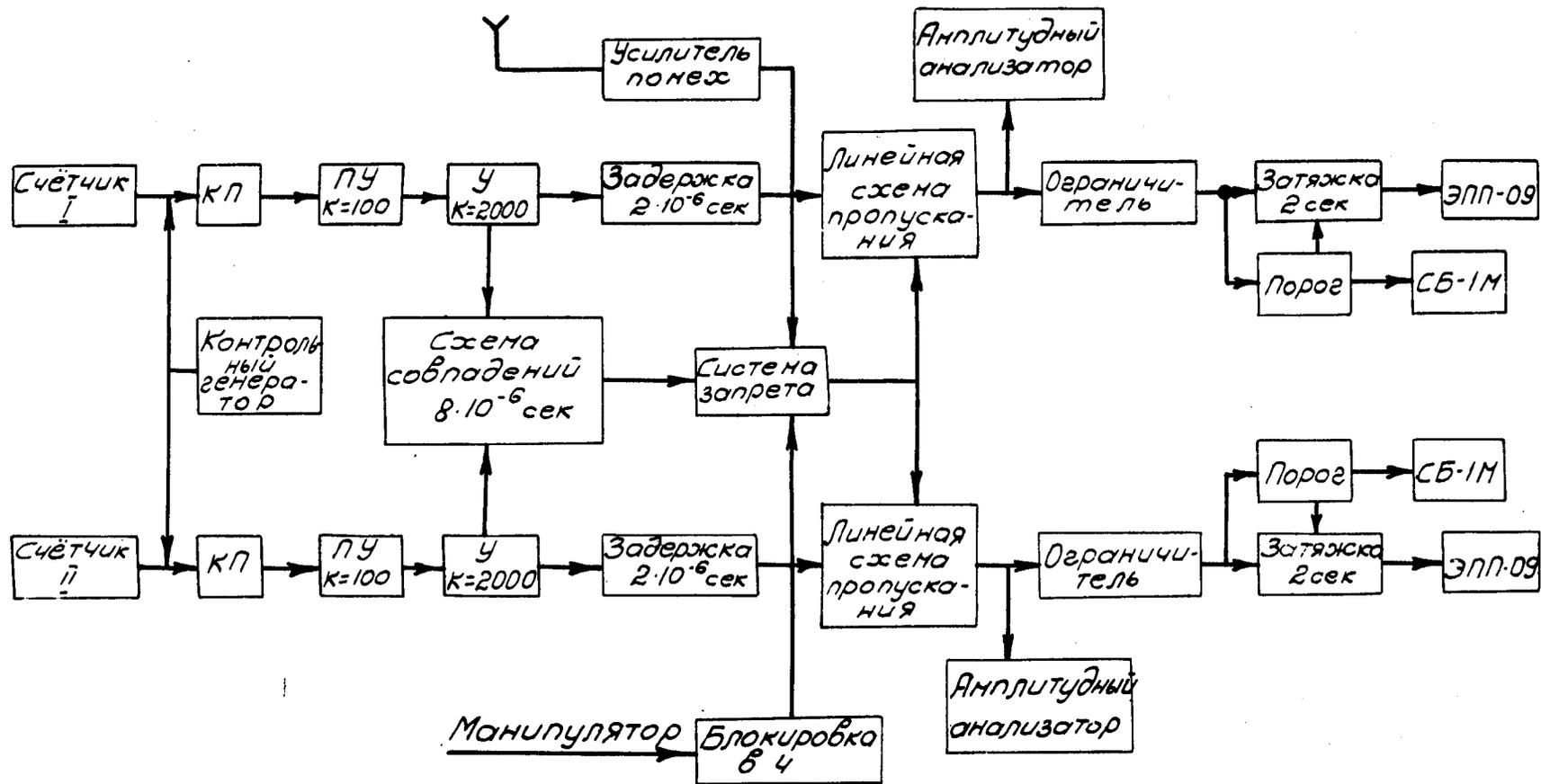
В заключение авторы статьи выражают глубокую благодарность члену-корреспонденту АН СССР Г.Н. Флерову, руководившему настоящими исследованиями и научным сотрудникам А.Ф. Линеву и Б.В. Фефилову, принявшим активное участие в наладке аппаратуры.

Мы также считаем приятным долгом поблагодарить коллектив циклотронной группы во главе с Ю.Ц. Оганесяном и А.С. Пасюком, обеспечивший четкую и бесперебойную работу циклотрона, В.А. Чугреева, проводившего конструкторские работы, и научных сотрудников РИАН СССР С.М. Соловьева, В.П. Эйсмонта и В.А. Юргенсона, оказавших помощь в проведении опытов.

Нам также приятно поблагодарить доктора физико-математических наук Гвердцители И.Г. с сотрудниками за большую помощь в работе.



Р и с. 1.



Р и с . 2.

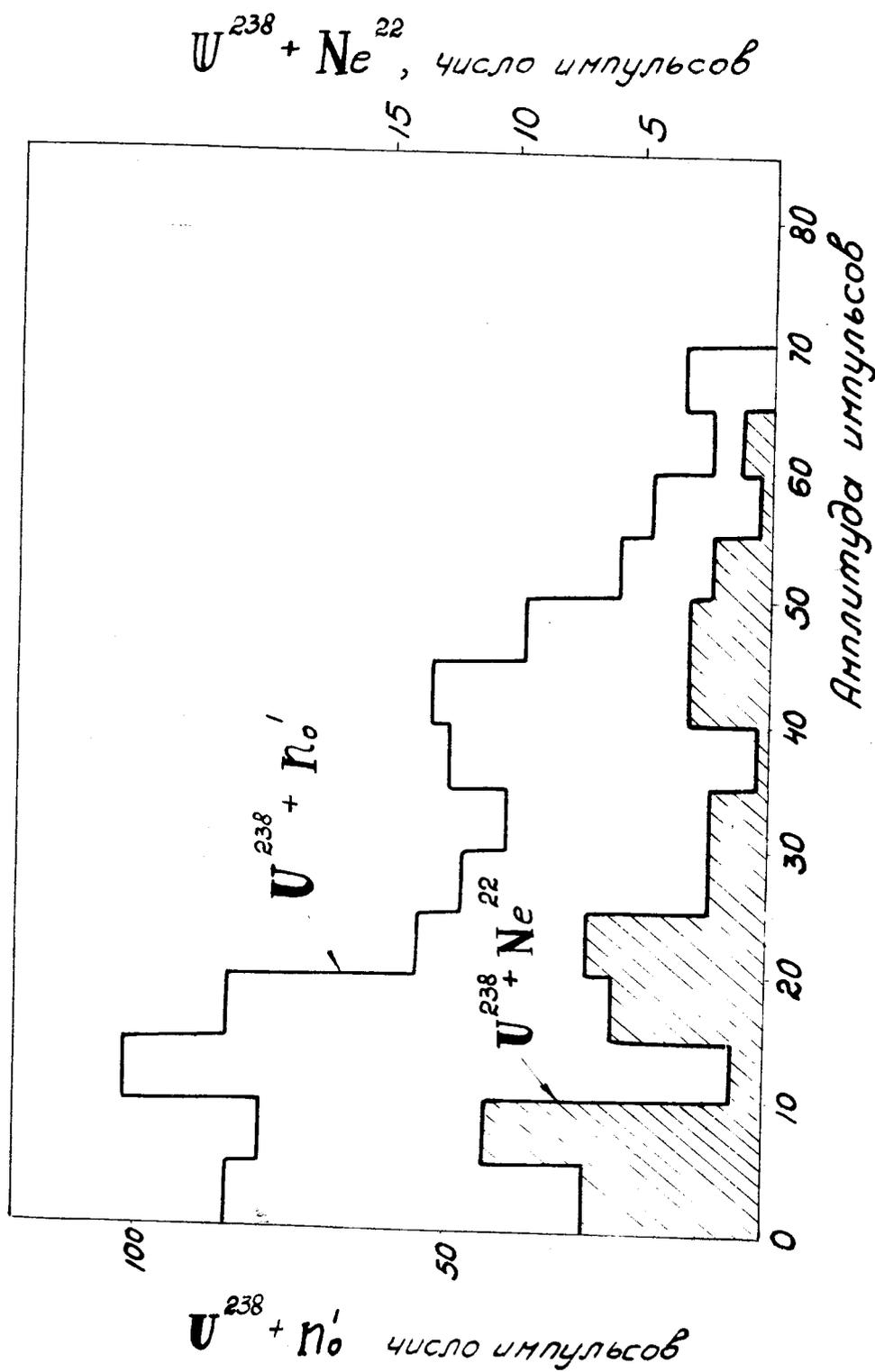
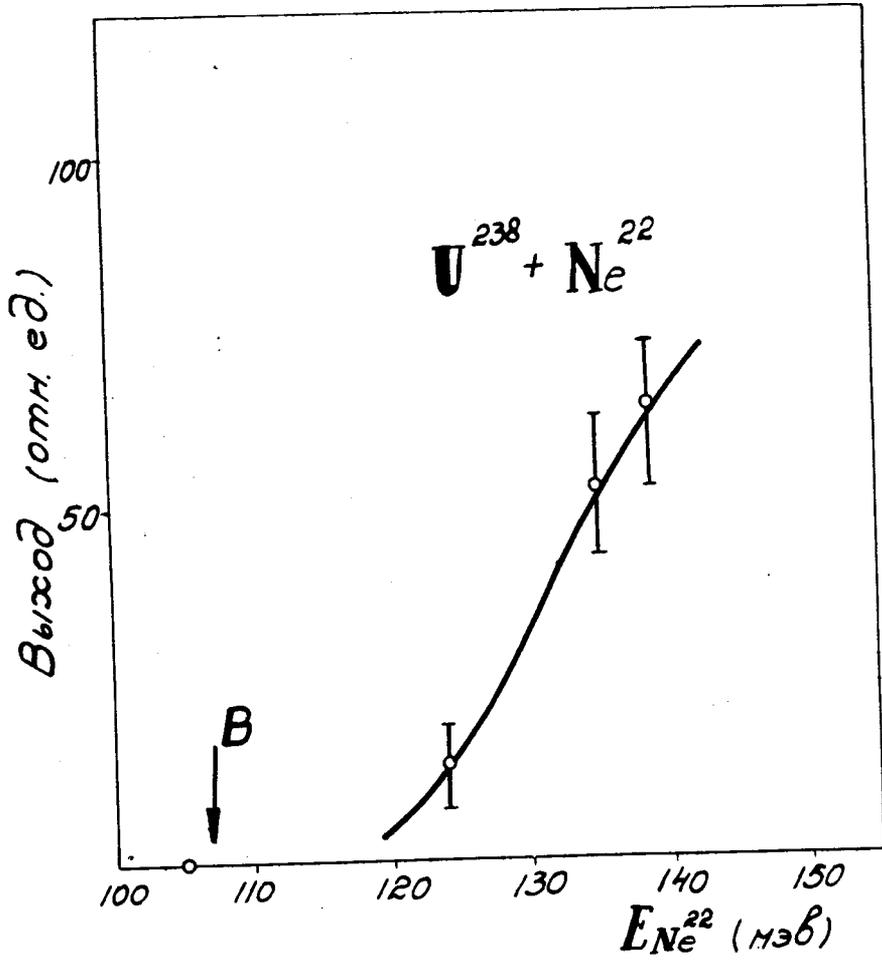
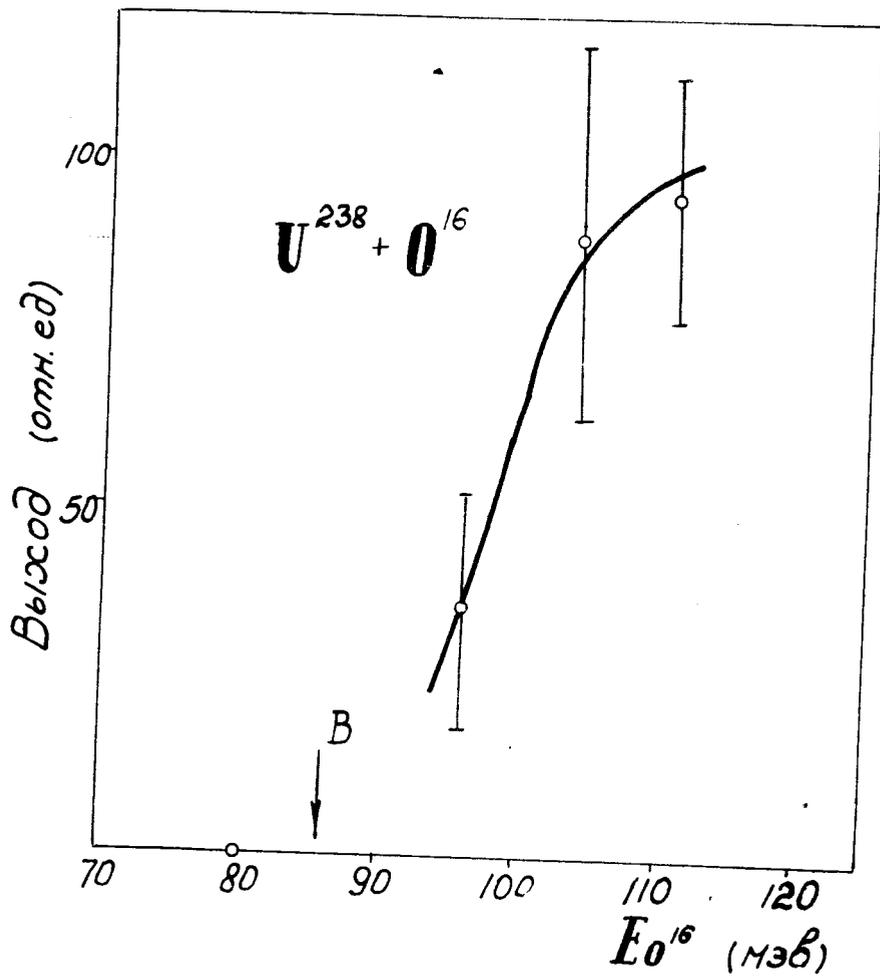


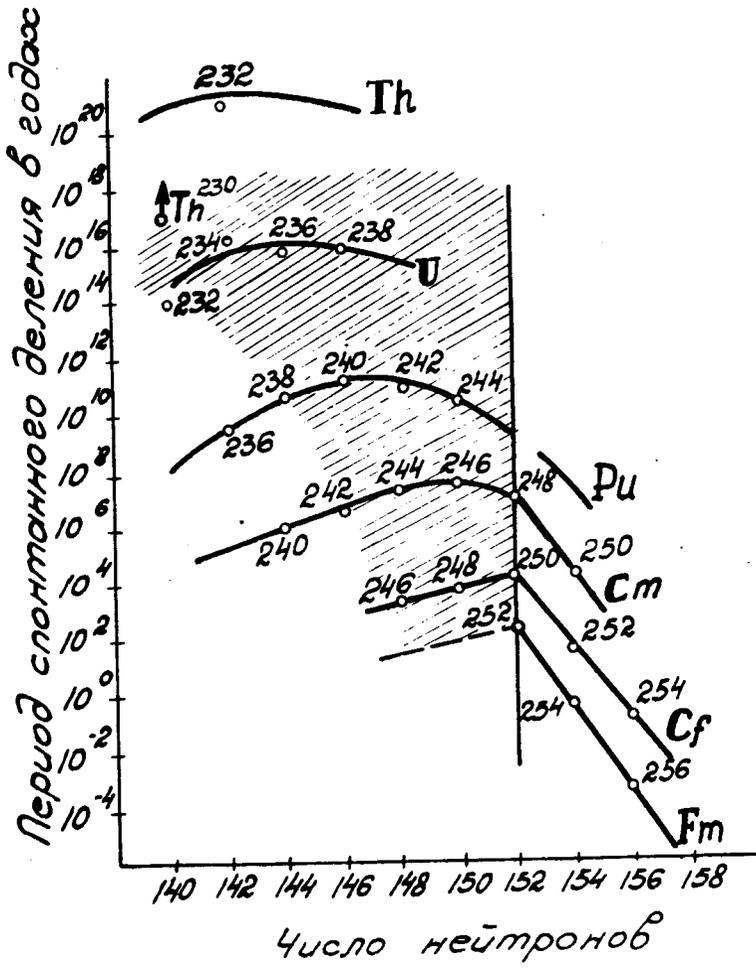
Рис. 3.



Р и с. 4.



Р и с. 5.



Р и с. 6.

Л и т е р а т у р а

1. К.А. Петржак и Г.Н. Флеров, УФН, **73**, 655 - /1961/.
R.Brandt, F. Werner, W. Wakano, R. Fuller, J. Wheeler, Proceedings of the international Conference on nuclidic masses, Mc Master university, Hamilton, September 12-16, 1960, edited by H.E. Duckworth, university of Toronto press.
2. В.П. Перелыгин, С.П. Алмазова, Б.А. Гвоздев, Ю.Т. Чубурков. ЖЭТФ, в печати.
3. L.C. Northcliffe. Phys.Rev. 120, 1744 (1960).
4. A. Ghiorso. Spontaneous fission correlation.
Доклад Р/118 на 1-№ Международной Конференции по мирному использованию атомной энергии. Женева, 1955.
5. В.В. Волков, Л.И. Гусева, Б.Ф. Мясоедов, Н.И. Тарантин, К.В. Филиппова, ЖЭТФ, **37**, 1207 /1959/.
6. В.А. Карнаухов, В.И. Хализев, Г.Н. Флеров. ЖЭТФ, **37**, 1266 /1959/.
В.А. Карнаухов, ЖЭТФ, в печати.
7. Sven A.E. Johansson. Nucl. Phys. 12, 5 449 (1959).
8. D.L. Hill and J.A. Wheeler. Phys.Rev. 89, 1102 (1953).

Рукопись поступила в издательский отдел
19 января 1962 года.

