

С 341.3  
Д-76



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

---

В.А. Друин, Н.К. Скобелев, Б.В. Фефилов, Г.Н. Флеров

Р - 1580

О СПОНТАННОМ ДЕЛЕНИИ ИЗОТОПА  
102-го ЭЛЕМЕНТА С МАССОВЫМ ЧИСЛОМ 258

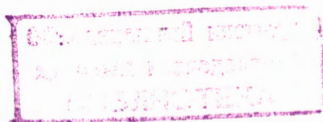
Дубна 1964

В.А. Друин, Н.К. Скобелев, Б.В. Фефилов, Г.Н. Флеров

P - 1580

2355/1 48

О СПОНТАННОМ ДЕЛЕНИИ ИЗОТОПА  
102-го ЭЛЕМЕНТА С МАССОВЫМ ЧИСЛОМ 256



Дубна 1984

Р - 1580  
Друин В.А., Скобелев Н.К., Фефилов Б.В., Флеров Г.Н.

О спонтанном делении изотопа 102-го элемента  
с массовым числом 256

На внутреннем пучке 310 см циклотрона Объединенного института ядерных исследований проводилось облучение урана-238, нанесенного на наклонную мишень, интенсивным потоком ионов неона-22. При помощи полупроводниковых детекторов были зарегистрированы осколки спонтанного деления.

Наблюдаемый эффект объясняется радиоактивным распадом изотопа  $102^{256}$ , образующегося в реакции  $U^{238} (Ne^{22}, 4n) 102^{256}$ . Значение периода спонтанного деления  $T_{sf}$  изотопа  $102^{256}$  составляет 1500 сек.

Препринт Объединенного института ядерных исследований.  
Дубна 1964.

Р - 1580  
Druin V.A., Skobelev N.K., Fefilov B.V., Flerov G.N.

On Spontaneous Fission of Element 102 Isotope with  
Mass Number 256.

Uranium - 238 put on a sloping target was bombarded with an intensive flux of neon-22 ions in the internal beam of the 310 cm cyclotron of the Joint Institute for Nuclear Research. Using the semiconductor counters the spontaneous - fission fragments were recorded.

The effect observed is accounted for the radioactive decay of the  $102^{256}$  isotope produced in the reaction  $U^{238} (Ne^{22}, 4n) 102^{256}$ . The spontaneous - fission half life  $T_{sf}$  of  $102^{256}$  isotope was found to be 1500 s.

Preprint, Joint Institute for Nuclear Research.  
Dubna, 1964.

Впервые о наблюдении спонтанного деления 102-го элемента стало известно в начале 1959 года, когда А. Гиорсо сообщил об опытах по изучению свойств распада изотопа  $102^{254}$ , выполненных в Радиационной лаборатории (США) на линейном ускорителе тяжелых ионов <sup>1/</sup>. Проводя эксперименты по измерению энергии  $\alpha$ -распада изотопа  $102^{254}$ , авторы зарегистрировали спонтанно-делящийся продукт с периодом полураспада ~ 3 сек, что совпадало с  $T_{1/2}$  для  $102^{254}$ . Совпадение времени жизни  $102^{254}$  по отношению к  $\alpha$ -распаду и времени жизни спонтанно-делящегося продукта привело авторов к заключению, что  $102^{254}$ , возможно, испытывает спонтанное деление. Поскольку частота появления осколочных импульсов была в 2 раза меньше скорости счета  $\alpha$ -частиц с энергией 8,3 Мэв, испускаемых при распаде  $102^{254}$ , можно было предположить, что  $T_{sf}$  для  $102^{254}$  составляет примерно 7 сек. Это обстоятельство казалось крайне удивительным, так как измеренное значение  $T_{sf}$  7 сек отличалось в  $10^5$  раз от ожидаемого из анализа различных систематик спонтанного деления. Однако недавние теоретические оценки Юханссона <sup>2/</sup> привели к значению периода спонтанного деления  $102^{254}$ , согласующемуся с экспериментальными данными. Используя значение  $T_{sf}$  для  $102^{254}$  в качестве отправной точки, Юханссон оценил также продолжительность жизни по отношению к спонтанному делению ряда других изотопов 102-го элемента, в частности,  $102^{258}$ . На основании этих расчетов период спонтанного деления  $102^{258}$  получился равным 0,02 сек.

В связи с этим получение и изучение свойств радиоактивного распада изотопа  $102^{256}$  представляло значительный интерес.

В Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ в Дубне Е.Д. Донец и др. <sup>3/</sup> весной 1963 г. получили этот изотоп в ядерной реакции



Авторы доказали, что  $102^{256}$  распадается с  $T_{1/2} \sim 8$  сек. Из этих данных следует, что нижняя граница для периода спонтанного деления  $102^{256}$  составляет 8 сек и не противоречит значению, полученному из графических экстраполяций. В то же время этот результат сильно расходится с теоретической оценкой Юханссона <sup>2/</sup>.

В настоящей работе приводятся данные опытов, поставленных с целью непосредственного измерения периода спонтанного деления изотопа  $102^{256}$ .

## Методика эксперимента

На основании систематики периодов спонтанного деления и экспериментальных данных по сечению реакции  $U^{238} (Ne^{22}, \alpha) U^{256}/3$  можно было ожидать, что эффект от спонтанного деления изотопа  $U^{256}$  будет невелик. Поэтому требовалось создать высокочувствительную методику.

Мы пошли по пути использования наклонной мишени<sup>/4/</sup> и полупроводниковых детекторов для регистрации осколков деления. Основным преимуществом наклонной мишени, изображенной на рис. 1, является возможность реализации больших токов, обусловленная хорошим водяным охлаждением мишени, а также высокая чувствительность, являющаяся результатом интегрирования эффекта по всей функции возбуждения. При толщине слоя урана на мишени  $200-500 \frac{мг}{см^2}$  и наклоне мишени к направлению пучка ионов, равном  $6^\circ$ , эффективная толщина мишени составляет  $2-5 \frac{мг}{см^2}$ .

Обычно в ядерных реакциях с тяжелыми ионами полуширина функции возбуждения для реакции  $(1,4 п)$  составляет  $8-10$  Мэв, что соответствует потерям энергии многозарядного иона в слое  $U_3 O_8$  толщиной  $3-4 \frac{мг}{см^2}$ .

Другим важным обстоятельством является то, что ядра-продукты реакции, имеющие пробег  $\sim 0,5-1 \frac{мг}{см^2}$  в уране и направленное вперед угловое распределение, тормозятся, в основном, в тонком поверхностном слое урана. Поэтому потери энергии осколков, возникающих при спонтанном делении ядер-продуктов, в слое невелики, и эффективность их регистрации детекторами оказывается достаточно высокой.

Урановая мишень изготовлялась путем нанесения на рабочую грань медного параллелепипеда спиртового раствора  $UO_2 (NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  с добавкой раствора нитроцеллюлозы в ацетате с последующей просушкой или прокаливанием до  $U_3 O_8$ . Количество вещества мишени определялось по удельной  $\alpha$ -активности слоя.

Наклонная мишень монтировалась внутри головки специального пробника. Она была изолирована от корпуса пробника, что давало возможность измерять поток падающих на нее ионов с помощью интегратора тока. Для собирания вторичных электронов, движущихся вдоль силовых линий магнитного поля, над мишенью помещался экран, электрически связанный с нею.

Опыты проводились на внутренней пучке 310 см циклотрона тяжелых ионов ОИЯИ. Интенсивность пучка ионов неона, попадающего на мишень, составляла  $20-25$  мка (размер окна в кожухе  $10 \times 15$  мм<sup>2</sup>).

В работе использовались изготовленные в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ<sup>/5/</sup> поверхностно-барьерные детекторы из  $n$ -кремния с удельным сопротивлением  $300$  ом·см. Четыре детектора (два канала по два детектора с параллельным включением) с общей

чувствительной поверхностью около  $12 \text{ см}^2$  были смонтированы на держателе, который мог находиться в двух положениях: в положении "облучение" - детекторы удалены от мишени (в это время она облучается пучком ускоренных ионов, измерительный тракт полностью заблокирован); в положении "измерение" - детекторы находятся над мишенью (пучок отсутствует, высокочастотный генератора заперт).

Управление положением детекторов и режимом работы ускорителя осуществлялось блоком автоматики (БА). На рис. 2 приводится блок-схема электронной аппаратуры, выполненной целиком на транзисторах. Были применены зарядово-чувствительные предусилители (ПУ) с входными транзисторами П403, включенными по схеме с общей базой. Смещение на детекторы (6 вольт) подавалось от источника питания предусилителей, при этом отношение сигнала к шуму на выходе усилительного тракта было не хуже 10 для  $\alpha$ -частиц с энергией 4,5 Мэв и величине магнитного поля  $\sim 18 \text{ кэ}$  (постоянная времени дифференцирования  $\sim 2 \text{ мксек}$ ).

Усилители (У) были выполнены в виде "двоек" с глубокой отрицательной обратной связью, коэффициент усиления 200, время нарастания  $\approx 0,2 \text{ мксек}$ . Для визуального контроля за работой усилительных трактов предусмотрен специальный выход через буферный усилитель ( $У_0$ ). Этот же выход можно было использовать для снятия энергетических спектров продуктов реакции на анализаторе АИ-100. В качестве дискриминирующих элементов применялись туннельные диоды в сочетании с транзисторными формирующими каскадами (ДФ). Уровень дискриминации регулировался в пределах от 8 до 30 Мэв. Сформированные импульсы поступали на схему антисовпадения с разрешающим временем 4 мксек. Далее сформированный сигнал проходил через первый клапан (Кл.1), одновибратор задержки (З) и второй клапан (Кл.2) на формирующий каскад (Ф) запуска механического регистратора для интегрального счета осколков. Момент появления каждого импульса отмечался с помощью телетайпа СТ-35 или самопишущего прибора ЭПП-09, управляемого блоком автоматики.

Основное внимание при разработке аппаратуры уделялось защите от электромагнитных наводок и помех. Входное окно пробника механически закрывалось на время измерений, так что пространство, где смонтированы детекторы и ПУ, оказывалось изолированным от объема ускорителя. Тем самым уменьшалась вероятность наводок от разрядов в камере ионного источника.

В электронной схеме этой же цели служит наличие двух каналов в сочетании со схемой антисовпадений. Благодаря такой комбинации одновременно возникающие внешние или внутренние помехи, превышающие порог дискриминации, не регистрировались аппаратурой.

Поскольку источник ионов работает в мощном импульсном режиме, в схеме была предусмотрена дополнительная блокировка на время импульсного разряда.



Питание предусилителей и усилителей осуществлялось от отдельных аккумуляторов, питание блока автоматики - от стабильной сети переменного тока. Это обеспечивало стабильную работу регистрирующей аппаратуры в течение длительного времени.

### Измерения и результаты

При известном значении парциального периода  $\alpha$ -распада задача определения  $T_{sf}$  сводится по существу к нахождению доли ядер, распадающихся путем спонтанного деления, из общего числа синтезированных ядер. В наших опытах измерялся выход изотопа  $^{102}_{256}$  по его спонтанному делению. Выход ядер  $^{102}_{256}$  по  $\alpha$ -распаду известен из работы <sup>/3/</sup>. Отношение этих выходов характеризует отношение парциальных периодов полураспада.

При облучении  $U^{238}$  ускоренными ионами  $Ne^{22}$  в мишени накапливаются продукты ядерных реакций, среди которых имеются различные спонтанно-делящиеся ядра. Необходимо выделить излучатель, распадающийся с  $T_{1/2} \sim 8$  сек.

Из данных работы <sup>/3/</sup>, для реакции  $U^{238} (Ne^{22}, 4n) ^{102}_{256}$  максимум сечения находится при  $E_{Ne} = 112$  Мэв. Большая часть наших опытов проводилась при энергии ионов  $Ne^{22}$ , равной 120 Мэв.

При этих условиях ожидался наибольший выход исследуемого изотопа.

На рис. 3 приведена кривая распада наведенной в мишени активности, полученная в одном из опытов в режиме работы аппаратуры  $\frac{\Delta T_{обл.}}{\Delta T_{изм.}} = \frac{40 \text{ сек}}{50 \text{ сек}}$ .

Видно, что экспонента характеризуется периодом полураспада, равным примерно 10 сек. Этот результат в пределах неточностей эксперимента согласуется с данными работы <sup>/3/</sup>.

Необходимо отметить, что помимо осколков спонтанного деления из мишени могут вылетать и регистрироваться детекторами осколки вынужденного деления ядер урана под действием запаздывающих нейтронов. Источниками запаздывающих нейтронов являются осколки деления и ядра  $N^{17}$  ( $T_{1/2} = 4,15$  сек), образующиеся в реакциях передачи. Для уменьшения эффекта от вынужденного деления вещества мишени низкоэнергичными нейтронами в работе использовался обедненный  $U^{238}$ . Однако эта мера не исключила фон нацело. Для учета фона проводился опыт с закрыванием детекторов фольгой, на внутреннюю поверхность которой наносился точно такой же слой обедненного  $U^{238}$ , как и на мишени. В этом случае осколки из мишени не регистрировались детекторами, тогда как эффект вынужденного деления сохранялся. Было показано, что фон от запаздывающих нейтронов не превышает 25% (возрастает с ростом энергии ионов) от наблюдаемой в мишени активности.

Кроме того были поставлены дополнительные контрольные опыты, в которых в качестве бомбардирующих частиц использовались ионы  $Ne^{20}$  и  $O^{16}$ . Обнаруженные в этих опытах спонтанноделящиеся продукты распадались с более коротким периодом полураспада, равным ~ 3,0 сек.

К настоящему времени имеются лишь предварительные результаты по энергетической зависимости выхода продукта с  $T_{1/2} = 10$  сек. Значения выходов, представленные в таблице 1, не противоречат характеру поведения функции возбуждения  $U^{238}$  ( $Ne^{22}, An$ )  $102^{256}$  /3/.

Совокупность всех данных позволяет сделать заключение о том, что при облучении  $U^{238}$  ядрами  $Ne^{22}$  наблюдалось спонтанное деление изотопа 102-го элемента с массовым числом 256.

Выход его, определенный по спонтанному делению, соответствует сечению  $\sim 3 \cdot 10^{-34}$  см<sup>2</sup>. Отсюда следует, что для  $102^{256}$   $T_{sf} \sim 10$  сек  $\frac{4,5 \cdot 10^{-32}}{3 \cdot 10^{-34}} = 1500$  сек.

#### Обсуждение результатов

Измеренное значение периода спонтанного деления изотопа  $102^{256}$  не очень сильно отличается от предсказанного путем графической экстраполяции известных данных. И, наоборот, отклонение от значения, полученного из теоретических оценок <sup>/2/</sup>, очень велико ( $10^5$ ).

На рис. 4. приведена зависимость периодов спонтанного деления от числа нейтронов в ядре для наиболее тяжелых элементов. Сплошные линии соединяют определенные экспериментально значения  $T_{sf}$ , пунктирная - проведена через теоретические значения. Очевидно, влияние подболочки  $Z = 100$ , которая обнаруживается на диаграмме Нильссона для протонов, на барьер деления не столь велико, как влияние подболочки  $N = 152$  <sup>/2/</sup>. До сих пор нет экспериментальных указаний на существование аномалий в радиоактивных свойствах ядер, расположенных за фермием. Результат настоящей работы говорит скорее об отсутствии значительного промежутка между энергетическими уровнями протонов 50 и 51 и о том, что времена жизни четно-четных изотопов с  $Z > 100$  и  $N$  вблизи 152 не будут так катастрофически малы, как это следует из теоретических оценок <sup>/2/</sup>.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность Э.З. Рындиной и И.И. Чубурковой, изготовившим кремниевые детекторы, Э.Г. Имаеву за разработку отдельных блоков аппаратуры, а также сотрудникам группы эксплуатации циклотрона У-300, обеспечившим хорошую работу машины при проведении опытов.

Т а б л и ц а 1

$E_{Ne^{22}}$ Мэв	Интегральный поток ионов $Ne^{22}$ мкэ-час	Выход (абс. число зарег.имп.)	Относит. выход	Относит. выход по данным работы /3/
102	14	0	0	0
110	28	8	0,5	0,33
120	28	17	1	0,99
124	14	9	1	1,00

Л и т е р а т у р а

1. А.Гиорсо. Атомная энергия, 7, 338 (1959).
2. S. Johansson. Report NCHL-10474, September 25, 1962.
3. Е.Д. Донец, В.А. Шеголев, В.А. Ермаков. Препринт ОИЯИ Р-1383, Дубна, 1963.
4. В.А. Друин, И. Брандштетер, Я. Малы. Препринт ОИЯИ, Р-875, Дубна, 1962.
5. Э.З. Герштейн, С.М. Соловьев, И.И. Чубуркова. Материалы совещания по полупроводниковым детекторам ядерных излучений. Препринт ОИЯИ, стр. 26, Дубна, 1962.

Рукопись поступила в издательский отдел  
28 февраля 1964 г.



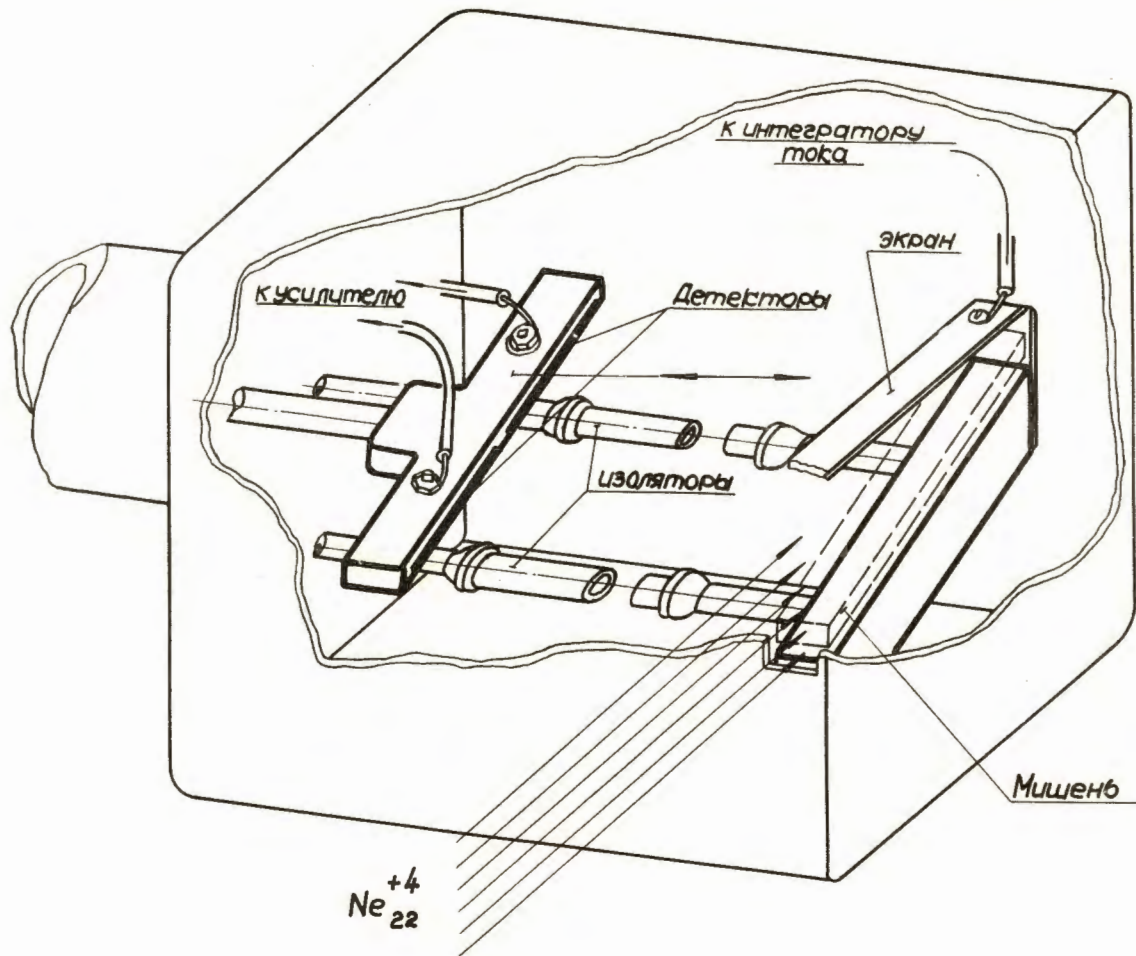


Рис. 1. Схематическое устройство пробника.

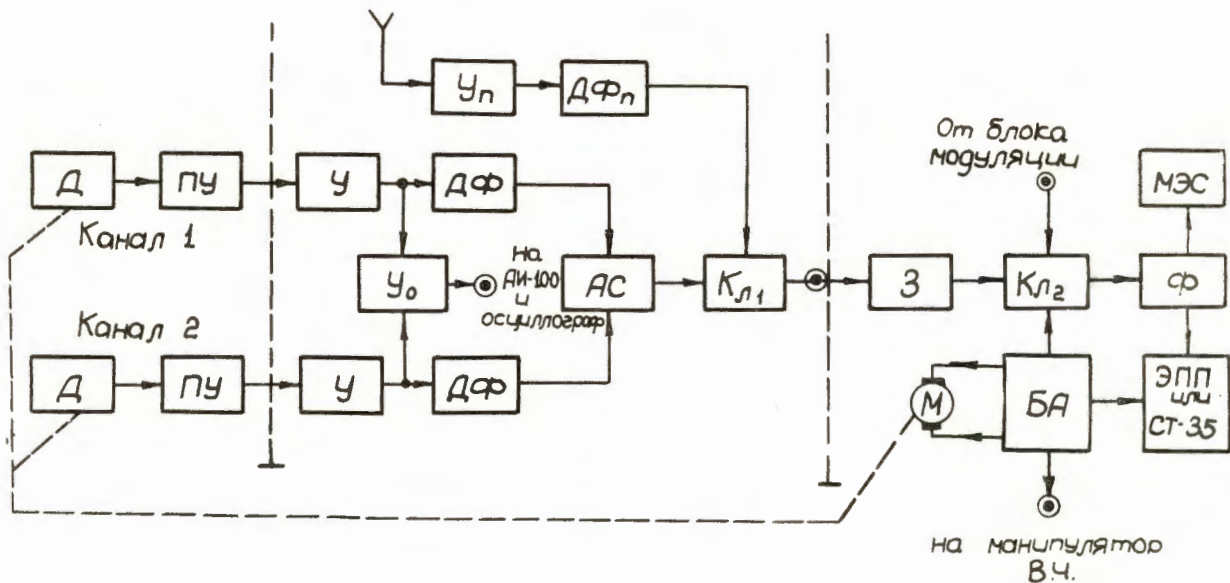


Рис. 2. Блок-схема электронной аппаратуры.  
 Д - полупроводниковые детекторы; ПУ - зарядовочувствительные предусилители; У, У<sub>0</sub> и У<sub>п</sub> - усилительные секции; ДФ и ДФ<sub>п</sub> - дискриминаторы и формирующие каскады; АС - схема антисовпадения; Кл<sub>1</sub> и Кл<sub>2</sub> - клапаны; З - одновибратор задержки; Ф - формирующий каскад запуска МЭС и ЭПП-09; БА - блок автоматики.

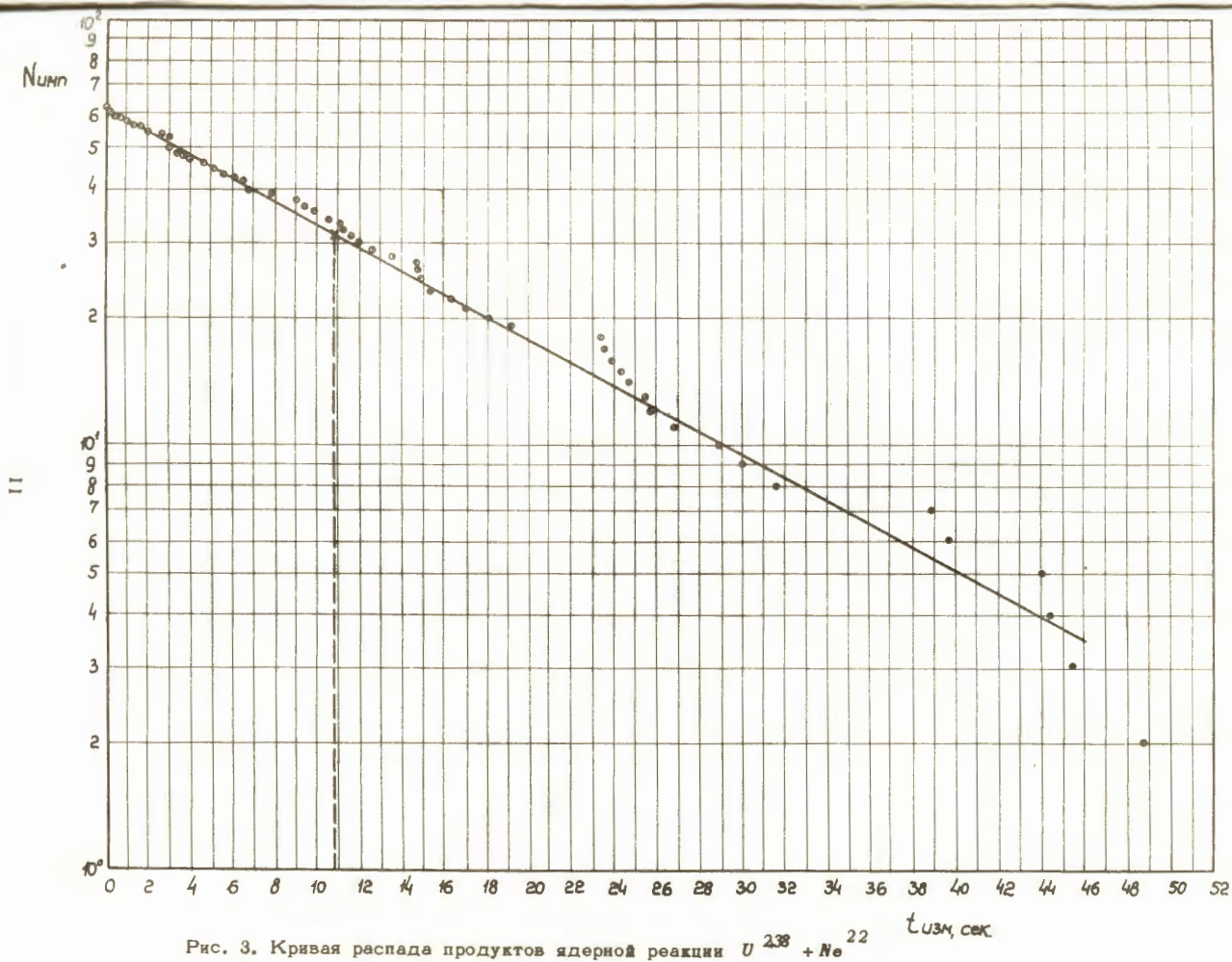


Рис. 3. Кривая распада продуктов ядерной реакции  $U^{238} + Ne^{22}$   $t_{изм}$ , сек

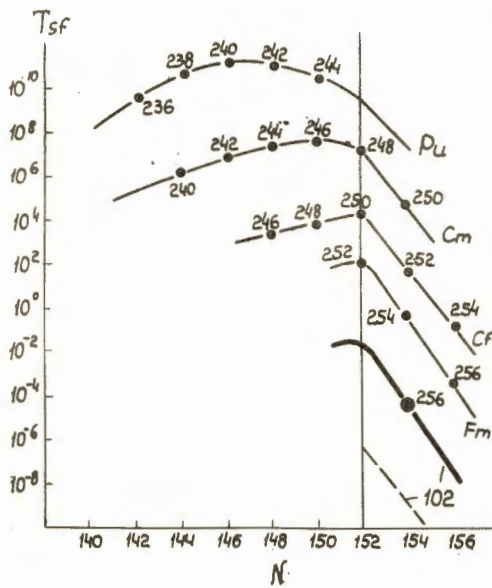


Рис. 4. Зависимость периодов спонтанного деления  $T_{sf}$  от числа нейтронов в ядре  $N$ .