

СЗУЧ.1

П-27

В.П. Перелыгин

2104

ИЗУЧЕНИЕ ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР
С ПОМОЩЬЮ ЯДЕРНЫХ ЭМУЛЬСИЙ
И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СРЕД

Автореферат диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук

Научный руководитель
кандидат физико-математических наук
С.М.Поликанов

Дубна 1965

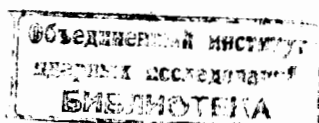
В.П.Перельгин

2104

ИЗУЧЕНИЕ ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР
С ПОМОЩЬЮ ЯДЕРНЫХ ЭМУЛЬСИЙ
И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СРЕД

Автореферат диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук

Научный руководитель
кандидат физико-математических наук
С.М.Поликанов



Изучение деления ядер, являясь одной из важнейших областей ядерной физики, дает ценную информацию о коллективном движении нуклонов и свойствах ядер при больших деформациях.

Существуют и развиваются многочисленные направления в исследовании этого явления, опирающиеся на использование различных методов регистрации делений ядер.

Для проведения целого ряда исследований не требуется детальных сведений о процессе деления - энергии, зарядах и массах осколков, среднем числе нейтронов, испускаемых на один акт, и т.д., а необходимо зарегистрировать лишь сам факт деления.

К такого рода задачам относится определение постоянных спонтанного деления ядер, измерение сечений деления ядер различными бомбардирующими частицами, измерение угловых распределений осколков.

В связи с проведением такого рода экспериментов необходимо обеспечить надежную регистрацию актов спонтанного, а также вынужденного деления ядер в условиях большого фона заряженных частиц, γ - лучей, нейтронов.

Методы регистрации деления ядер

Для изучения деления ядер в условиях большого фона были выбраны методики, основанные на регистрации следов от осколков, - первоначально ядерные эмульсии, а затем - диэлектрические среды.

Однако эти методики не удовлетворяли требованиям, предъявляемым экспериментом, и требовали дальнейшей разработки.

Так, для ядерных эмульсий достигнутый ранее уровень устраняемого фона при одновременной регистрации осколков составил всего $10^8 - 10^9$ а / см² / 1/.

Нами использовались следующие возможности увеличения предельно допустимого уровня фона ^{1/2/}.

Во-первых, применялись наиболее мелкозернистые ядерные эмульсии Т-1 и П-8, что уменьшало вероятность прохождения нескольких заряженных частиц через один и тот же кристалл AgBr.

Во-вторых, режим устранения фона подбирался таким образом, что даже те зерна AgBr, через которые прошло несколько α -частиц, не проявлялись.

Для устранения фона от легких частиц использовались методики частичного разрушения скрытого изображения и недопроявления. В качестве окислителя был подобран ферроцианид калия $K_3Fe(CN)_6$, в экспериментах по недопроявлению наилучшие результаты дал железосоляной проявитель^{/3/}. Достигнутый уровень устраняемого фона в режиме окисления составил 10^{10} а/см² и до 10^{11} а/см² для ядерных эмульсий Т-1 и П-8 соответственно при одновременной надежной регистрации осколков^{/2/}. Однако просмотр эмульсий, облученных потоками свыше $3 \cdot 10^{10}$ а/см² и обработанных в режимах окисления, приходится производить при увеличениих 600X из-за наличия фона проявленных зерен.

Методика недопроявления дает более четкие следы осколков деления, однако достигнутый уровень устраняемого фона существенно ниже $2 \cdot 10^9$ а/см² и 10^{10} а/см² для эмульсий Т-1 и П-8 соответственно. Поэтому были предприняты опыты по последовательному применению окисления слабых центров скрытого изображения и недопроявления. Это позволило добиться надежной регистрации осколков деления ядер при фоне до 10^{11} а/см², 10^{13} нейтронов/см², γ -лучей до 150 тыс. рентген для эмульсий П-8.

При указанной последовательности действий получают четкие следы осколков (рис. 1), и их поиски можно производить при увеличениих 225-300X, со скоростью 1,5-2 см²/час. Эффективность регистрации актов деления ядер определяется для каждого отдельного эксперимента измерением распределения найденных треков по углам вхождения в эмульсию $\theta^{/4/}$. Скрытое изображение от осколков деления сохраняется почти 60 суток при комнатных условиях, что обеспечивает возможность длительной экспозиции детекторов у препарата.

В 1962 г. авторами работы^{/5/} был предложен новый способ регистрации деления ядер - с помощью травления облученных осколками образцов диэлектрика (сляда) в плавиковой кислоте до образования пустотелых каналов размером свыше 1 мк.

Однако спонтанное деление содержащегося в слядах урана за геологические промежутки времени приводит к появлению фона следов $10-10^3$ л/см². Поэтому методика работы^{/5/} была применена нами к аморфным средам, содержащим SiO_2 и P_2O_5 , не имеющим фона от спонтанного деления^{/6,7/}.

Следы осколков деления в силикатных стеклах имеют вид конуса с вершиной, совпадающей с траекторией осколка (рис. 1).

Исследовалась динамика процесса травления в зависимости от концентрации плавиковой кислоты. Показано, что оптимальной является концентрация 2,5% HF.

Размеры следов удобно доводить до 7-10 мк, скорость просмотра стеклянных детекторов достигает 10 см^2 в час при поисках редких актов спонтанного деления.

Эффективность регистрации для силикатного стекла составляет $(42 \pm 4)\%$ от полного числа делений, имевших место на тонком плоском препарате. При проведении опытов по регистрации редких актов деления ядер в условиях большого нейтронного фона целесообразно использовать фосфатные стекла, изготовленные из особо чистых материалов. Содержание урана в этих стеклах составляет $0,01 \text{ мкг/см}^3$, что обеспечивает регистрацию редких актов деления ядер в условиях фона до 10^{13} нейтр./см².

Силикатные и фосфатные детекторы нечувствительны к заряженным частицам с удельными потерями $\frac{dE}{dx} \leq 2 \text{ Мэв/мк}$ и могут быть использованы при температурах до 180°C , их просмотр можно вести при увеличениих 100-150X, поиски следов производятся со скоростью в 4-8 раз большей, чем на ядерных эмульсиях.

Однако ядерные эмульсии позволяют измерять распределение длин следов осколков, восстанавливать геометрическую картину события и определять эффективность регистрации для каждого данного опыта.

Обе разработанные методики обеспечивают проведение необходимых количественных экспериментов по регистрации актов спонтанного и вынужденного деления ядер в условиях большого фона легких частиц.

Спонтанное деление из возбужденного состояния

Эксперименты по получению короткоживущих спонтанно делящихся ядер производились на внутреннем пучке циклотрона У-300 ОИЯИ. В этих опытах использовался метод ядер отдачи. Бомбардирующие частицы проходили фольгу из алюминия и попадали на мишень, обращенную активным слоем в сторону коллектора ионов. Образованные при взаимодействии ядра за счет импульса налетающей частицы вылетали из мишени и попадали на подвижный сборник, доставлявший их к детекторам осколков деления.

В 1962 г. с помощью ионизационных камер в опытах по облучению ионами $Ne^{22,0}_{16}$ ядер U^{238} было обнаружено спонтанно делящееся ядро с периодом полураспада $\sim 0,02 \text{ сек}^{/8/}$.

В проводившихся параллельно опытах с ядерными эмульсиями^{/8/} были получены независимые доказательства того, что в этих реакциях синтезировано новое спонтанно делящееся ядро. Режим обработки полностью устранял следы от α -частиц; распределение длин следов, измеренное в опыте по облучению U^{238} ионами Ne^{22} совпало с распределением длин следов осколков от деления U^{235} тепловыми нейтронами; продолжения следов осколков пересекали часть сборника ядер отдачи, проходившую непосредственно перед мишенью.

Из распределения следов осколков по фотопластикам был получен период полураспада этого продукта $-(17 \pm 7)$ мсек.

Поскольку в районе $\lambda < 100$ периоды спонтанного деления $> 10^3$ сек, было сделано заключение /8/, что спонтанное деление испытывает ядро, находящееся в изомерном состоянии. Необходимо было измерить точное значение периода полураспада данного ядра, во-первых, чтобы определить, не наблюдается ли в одной и той же реакции несколько спонтанно делящихся ядер с близкими периодами λ , во-вторых, точное значение периода необходимо для поисков новых спонтанно делящихся ядер.

Измерения периодов полураспада производились в опытах по облучению мишени ^{238}U ускоренными ионами ^{16}O , ^{20}Ne , ^{22}Ne , ^{11}B , ^{40}Ar и в реакции $^{242}\text{Pu} + ^{22}\text{Ne}$ /10/.

Для реакции $^{238}\text{U} + ^{16}\text{O}$ измерения производились при шести различных энергиях в интервале от 82 до 119 Мэв. Периоды, полученные при этих энергиях, совпали в пределах ошибок, что позволило произвести суммирование числа следов по детекторам (рис. 2) и получить для периода значение $(13,4 \pm 1,4)$ мсек. Аналогичный результат был получен в опытах с ^{20}Ne (рис. 2) и ^{22}Ne , значения периодов соответственно равнялись $(14,2 \pm 2,2)$ мсек и $(12,3 \pm 3)$ мсек.

В реакциях $^{238}\text{U} + ^{40}\text{Ar}$ и $^{242}\text{Pu} + ^{22}\text{Ne}$ периоды равнялись (15 ± 3) мсек и $(14,5 \pm 2)$ мсек.

Наиболее точное значение периода полураспада изомерного ядра было получено в реакции $^{238}\text{U} + ^{11}\text{B}$: $T_{1/2} = (14,2 \pm 0,7)$ мсек (рис. 3). Как следует из рис. 2, 3, достоверно можно говорить лишь об одном периоде полураспада. Совпадение измеренных периодов явилось аргументом в пользу заключения, что во всех этих реакциях образуется одно и то же спонтанно делящееся ядро.

Наибольший выход изомера наблюдался в реакции $^{238}\text{U} + ^{11}\text{B}$, он соответствует сечению $\geq 3 \cdot 10^{-31}$. Для реакции $^{238}\text{U} + ^{16}\text{O}$ выход изомера имеет максимум при энергии 100 Мэв, полуширину около 15 Мэв. При энергии 120 Мэв выход падает примерно в четыре раза.

При энергии ионов ^{16}O 100 Мэв угловое распределение ядер изомера имеет максимум под углом $20-25^\circ$ к пучку и плавно спадает вплоть до 45° . Совокупность полученных результатов в сочетании с данными по энергетическим зависимостям выхода изомера в реакциях $^{238}\text{U} + ^{16}\text{O}$, ^{20}Ne , ^{22}Ne , полученными с помощью ионизационных камер /11/, позволили заключить, что спонтанно делящееся ядро образуется в касательных взаимодействиях с передачей ядру мишени нескольких нуклонов.

Поскольку в реакциях с тяжелыми ионами имеется большое число всевозможных

каналов взаимодействия, для определения атомного номера и массового числа спонтанно делящегося изомерного ядра были предприняты опыты с α -частицами с дейтронами.

Эти эксперименты производились на внешнем пучке 150 см циклотрона Института атомной энергии им. И.В.Курчатова /12,13/, использовалась аппаратура, аналогичная применявшейся в опытах с тяжелыми ионами.

В качестве детекторов осколков деления использовались ядерные эмульсии П-8 и силикатные стекла.

В опытах по облучению мишеней $^{242-240}\text{Pu}$ и $^{243, 241}\text{Am}$ α -частицами и $^{242-240}\text{Pu}$ дейтронами наблюдался большой выход спонтанно делящегося ядра, соответствующий сечению $10^{-31} - 10^{-30}$ см².

Измерения периодов полураспада дали величины $(12,6 \pm 1,3)$ мсек для опытов с α -частицами и (14 ± 2) мсек - для реакции $^{242}\text{Pu} + d$.

Совпадение полученных значений периодов с ранее измеренными послужило аргументом в пользу того, что во всех этих реакциях образуется одно и то же спонтанно делящееся ядро.

Из факта наблюдения 14 мсек изомера в реакциях $^{239}\text{Pu} + \alpha$, $^{242}\text{Pu} + d$ достоверно определяется верхняя граница по А и Z этого ядра: $A \leq 242$, $Z \leq 95$.

Определение нижней границы производилось на основании отсутствия эффекта в реакциях $^{239}\text{Pu} + d$, $^{238}\text{U} + \alpha$, по сравнению выхода изомера в реакциях $^{242-240}\text{Pu} + d$ с экспериментальными данными. о зависимостях сечений реакций (d, α) , $(d, 2n)$, $(d, 3n)$ от энергии дейтронов, и по энергетическому балансу реакций.

Совокупность полученных данных позволила заключить, что спонтанное деление испытывает, по-видимому, ядро ^{242}Am в возбужденном состоянии, хотя ядра ^{241}Am и даже ^{241}Pu нельзя было полностью исключить /12,13/. Это предположение было впоследствии подтверждено в работе /14/.

Поиски ветви α -распада данного ядра позволили указать верхнюю границу эффекта $N_{\alpha}/N_{\text{оск}} \leq 50 \pm 10$. Распределение следов осколков спонтанного деления ^{242}Am по длинам имеет характерную форму с двумя максимумами, соответствующими легкому и тяжелому осколкам.

Наиболее важным свойством изомера америция является установленный факт спонтанного деления, ускоренного по сравнению с ядрами ^{241}Am , ^{243}Am в 10^{23} раз. Это обстоятельство позволило произвести оценки энергии возбуждения ядра америция. Согласно гидродинамической модели ядра, энергия этого состояния должна быть 3-3,5 Мэв.

С другой стороны, в рамках сверхтекучей модели ядер ^{15/} такое ускорение спонтанного деления связывается с разрывом парных состояний нуклонов при энергии возбуждения $E^* - E \geq 2\Delta$ (где Δ - энергия спаривания), что приводит к скачкообразному уменьшению массового коэффициента B_{Δ} в формуле

$$T_f = \frac{1}{\omega} e^{\frac{2}{\hbar} \int_{\beta_0}^{\beta_f} \sqrt{2B_{\Delta}(W-E)} d\beta}$$

примерно в два раза.

Поскольку значения Δ лежат в пределах 0,4-0,7 Мэв для большинства ядер, энергия возбуждения A_{m}^{242} , согласно сверхтекучей модели, должна быть 1-1,5 Мэв.

Регистрация спонтанного и вынужденного деления ядер

С помощью ядерных эмульсий и стеклянных детекторов были получены сведения о периодах спонтанного деления ядер Np^{237} , Am^{243} , Cm^{244} ^{18/}.

Период спонтанного деления нептуния измерялся на препаратах, практически не содержащих примесей изотопов урана и плутония.

Нептуний был нанесен слоем 1 мг/см², количество вещества на препаратах было ~ 40 мг, суммарная экспозиция детекторов у препарата составила 135 суток. Всего было зарегистрировано три следа осколков деления, что соответствует периоду спонтанного деления $Np^{237} = 3 \cdot 10^{18}$ лет.

Коэффициент запрета на спонтанное деление нечетно-четного ядра Np^{237} по сравнению с соседними четно-четными ядрами определен равным 10^5 .

Опыты по измерению постоянной спонтанного деления ядра Am^{243} производились с препаратом, содержащим 860 мкг смеси изотопов Am^{243} (85%) и Am^{241} (15%). Перед нанесением на подложку вещество несколько раз очищалось от примесей. За 144 часа экспозиции было зарегистрировано 650 осколков деления. Значение периода Am^{243} , полученное в этих опытах, $T_f \geq 1,6 \cdot 10^{13}$ лет, следует рассматривать как нижнюю границу. Измерения периода спонтанного деления Cm^{244} производились с помощью ядерных эмульсий и стекол, регистрировавших α -распад и осколки деления кюрия в одной и той же геометрии. Измеренный период спонтанного деления $Cm^{244} = (1,50 \pm 0,08) \cdot 10^7$ лет хорошо согласуется с известными значениями.

Ядерные эмульсии и стеклянные детекторы были успешно применены в экспериментах по изучению химических свойств менделевия и фермия, где потребовалось регистрировать спонтанное деление Fm^{256} на 50 препаратах одновременно ^{17/}.

Детекторы осколков деления были применены также для измерения нейтронных

потоков, для определения концентраций урана в различных средах; они успешно используются для радиографии препаратов делящихся веществ.

Данная методика успешно применяется в Лаборатории ядерных реакций для поисков и измерения периодов новых спонтанно делящихся ядер в области $10-10^{-3}$ ^{18/} сек и в некоторых других институтах, главным образом, для измерений сечений деления и угловых распределений осколков ^{19/}.

Основной материал, использованный в диссертации, опубликован в статьях ^{3,4,6,7,9,10,12,16,17/} и доложен на III Международном совещании по ядерной фотографии (Москва, июль 1960 г.) ^{2/}.

Автор выражает глубокую благодарность члену-корреспонденту АН СССР Г.Н.Флерову и С.М.Поликанову за руководство работой и научным сотрудникам В.А.Друину, В.Л.Михееву, А.А.Плеве, С.П.Третьяковой, К.А.Гаврилову, Г.И.Хлебникову, А.М.Семчиновой, Е.Д.Донцу, И.Звара, А. Капусник за помощь в проведении экспериментов.

Л и т е р а т у р а

1. Н.А.Перфилов. ДАН СССР, 42, 287 (1944), ЖЭТФ, 18, 285 (1946).
2. А.М.Семчинова, Е.Д.Донец, В.П.Перельгин. Ядерная фотография, Труды III Международного совещания, июль 1960 г. Москва, изд. АН СССР, 1962 г., стр. 448.
3. С.П.Алмазова, В.П.Перельгин. Препринт ОИЯИ Р-879 (1962); ПТЭ 2, 63 (1963).
4. В.А.Друин, В.П.Перельгин, Г.И.Хлебников. ЖЭТФ 40, 1297 (1961).
5. P.V.Price, R.M.Walker. J. Appl. Phys., 33, 3400 (1962); Phys. Lett., 3, 137 (1962).
6. В.П.Перельгин, С.П.Третьякова, И. Звара. ПТЭ 4, 78 (1964).
7. А.Капусник, В.П.Перельгин, С.П.Третьякова. Препринт ОИЯИ Р-1433 (1963); ПТЭ 5, 64 (1964).
8. С.М.Поликанов, В.А.Друин, В.А.Карнаухов, В.Л.Михеев, А.А.Плеве, Н.К.Скобелев, В.Г.Субботин, Г.М.Тер-Акопян, В.А.Фомичев. ЖЭТФ 42, 1454 (1962).
9. В.П.Перельгин, С.П.Алмазова, Б.А.Гвоздев, Ю.Т.Чубурков. Препринт ОИЯИ Р-899 (1962); ЖЭТФ 42, 1472 (1962).
10. В.П.Перельгин, С.П.Третьякова. Препринт ОИЯИ Р-1258 (1963), ЖЭТФ 45, 869 (1963).
11. С.М.Поликанов, Ван Тун-сен, Х.Кекк, В.Л.Михеев, Ю.Ц.Оганесян, А.А.Плеве, Б.В.Фефилов. ЖЭТФ 44, 804 (1963).
12. Г.Н.Флеров, С.М.Поликанов, К.А.Гаврилов, В.Л.Михеев, В.П.Перельгин, А.А.Плеве. Препринт ОИЯИ Р-1289 (1963); ЖЭТФ 45, 1396 (1963).

13. G.N.Flerov, S.M.Polikanov, V.L.Mikheev, V.P.Perehygin, A.A.Pleve. Proceedings of the 3d Conference on Reaction between Complex Nuclei, Asilomar, USA, 1963, p. 219
14. А.Ф.Линев, Б.Н.Марков, А.А.Плеве, С.М.Поликанов. Преприят ОИЯИ Р-1693 (1964).
15. М.Г.Урин, Д.Ф.Зарецкий. Докл. С 382а, 1, Конгресс по ядерной физике, Париж, июль 1964 г. стр.1146
16. В.П.Перельгин, С.П.Третьякова, Г.И.Хлебников. Преприят ОИЯИ Р-1635 (1963).
17. В.П.Перельгин, С.П.Третьякова. Преприят ОИЯИ Р-1118 (1963), ПТЭ 5, 73 (1963).
18. Г.Н.Флеров, С.М.Поликанов. Преприят ОИЯИ Д-1799 (1964).
19. И.С.Работнов, Г.Н.Смиренкии, А.С.Солдатов, Л.Н.Усачев. Докл. С 337 В, 1 Конгресс по ядерной физике. Париж, июль 1964 г. стр. 1137.

Рукопись поступила в издательский отдел
8 апреля 1965 г.



Рис. 1. Следы осколков деления
а) ядерные эмульсии П-8, б) силикатные стекла.

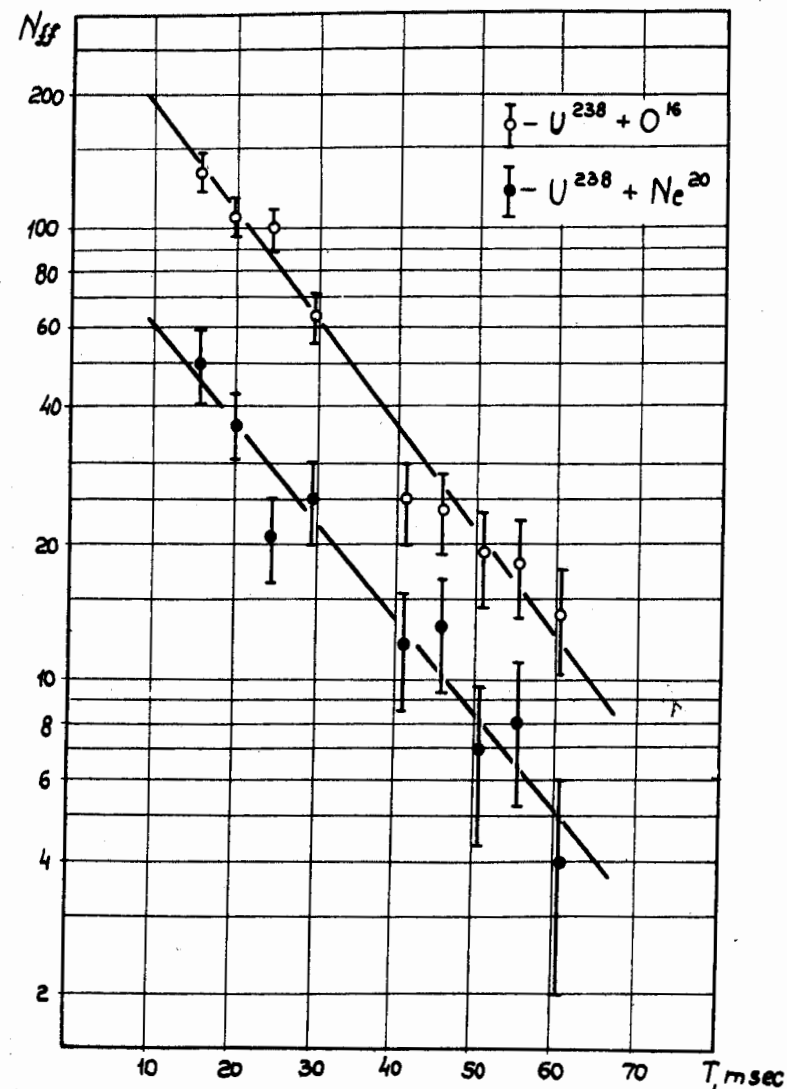


Рис. 2.

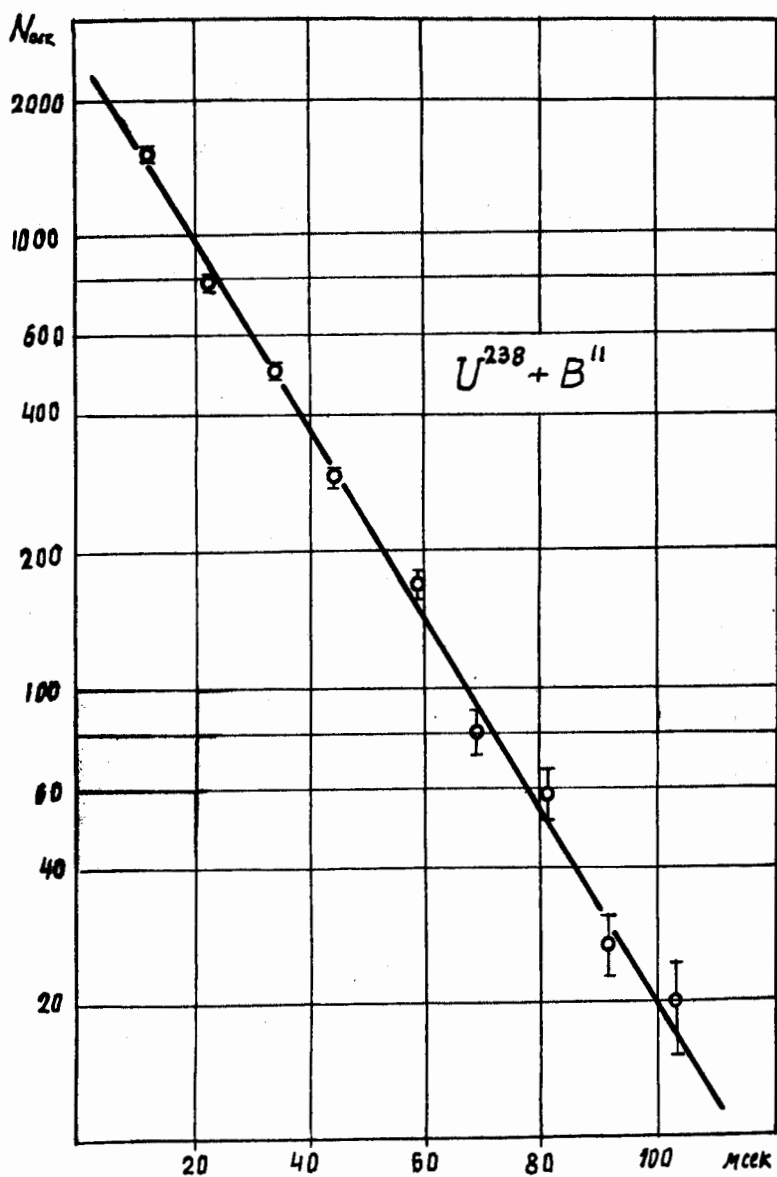


Рис. 3.