

4552

Экз. чит. зап.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P15 - 4552



Ю.П.Гангрский, Б.Н.Марков, Ю.М.Ципенюк

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИЙ (γ, n),
ПРИВОДЯЩИХ К ОБРАЗОВАНИЮ
СПОНТАННО ДЕЛЯЩИХСЯ ИЗОМЕРОВ АМЕРИЦИЯ

1969

P15 - 4552

Ю.П.Гангрский, Б.Н.Марков, Ю.М.Ципенюк *

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИЙ (γ, n),
ПРИВОДЯЩИХ К ОБРАЗОВАНИЮ
СПОНТАННО ДЕЛЯЩИХСЯ ИЗОМЕРОВ АМЕРИЦИЯ**

Направлено в журнал "Ядерная физика"

* Институт физических проблем АН СССР

В ряде ядер трансурановых элементов наблюдаются изомерные состояния необычного типа. Энергия этих состояний велика (около 3 Мэв), а спин мал, однако они характеризуются большим запретом (более 10^{10}) по отношению к γ -переходам и повышенной вероятностью (не менее 10^{20}) спонтанного деления.

Поскольку, кроме спонтанного деления, другие пути разрядки этих состояний не обнаружены, то единственным источником сведений об их свойствах являются ядерные реакции. Изучение ядерных реакций позволило определить энергию изомерных уровней, получить сведения об их спине и других характеристиках.

Спонтанно делящиеся изомеры исследовались обычно в реакциях с заряженными частицами и нейтронами. Однако большой интерес представляет использование фотоядерных реакций. Во-первых, из-за отсутствия кулоновского барьера и энергии связи для γ -квантов можно получать ядра с малой энергией возбуждения непосредственно после поглощения γ -квантов. Во-вторых, импульсные источники γ -квантов (микротроны, линейные ускорители) имеют, как правило, высокую интенсивность γ -излучения. В настоящей работе проведено исследование реакций (γ, n) , приводящих к образованию известных спонтанно делящихся изомеров ^{240}Am и ^{242}Am .

Методика эксперимента

Эксперименты проводились на микротроне с 17 орбитами Института физических проблем АН СССР /1/.

Электронный пучок с последней орбиты выводился с помощью магнитного канала из ускорительной камеры, проходил по электроноводу длиной ≈ 1 м и через алюминиевую фольгу толщиной 0,2 мм выходил наружу. Фокусировка пучка производилась дублетом квадрупольных линз, размер пятна на конце электроновода составлял в диаметре около 15 мм, эффективность вывода - $\approx 95\%$.

На расстоянии 30 мм от конца электроновода располагалась тормозная мишень из вольфрама, толщиной 1 мм, за которой устанавливался 15-миллиметровый алюминиевый поглотитель электронов. Средний ток на мишени измерялся непрерывно во время эксперимента и составлял около 5 мка. Длительность токового импульса равнялась 2 мксек, частота посылок - 400 гц.

Энергия электронов регулировалась только изменением величины ведущего магнитного поля и могла изменяться более чем в 1,5 раза при практически постоянной интенсивности пучка.

В качестве детектора осколков деления применялся многонитиевой искровой счетчик, наполненный до 1 атм смесью газов: $N_2(1,3\%)+He(98,7\%)$. Схема опыта приведена на рис. 1. Счетчик помещался соосно с электроноводом на расстоянии ≈ 50 мм от тормозной мишени.

Подробное описание конструкции, принципа работы и основных параметров счетчика изложено в работе /2/.

Мишени были изготовлены из разделенных изотопов ^{241}Am и ^{243}Am . Вещество наносилось на алюминиевую подложку-50 мк, толщина его слоя равнялась $\approx 0,4$ мг/см², площадь - 12 см². Очистка от примесей Cm была проведена методами радиохимии. При работе с америциевыми мишенями искровой счетчик обеспечивал практически полную дискриминацию от

α -частиц. В течение 3-5 часов непрерывной работы фон не превышал 5-6 импульсов в час. Для защиты от тепловых нейтронов, возникающих при работе ускорителя, счетчик снаружи был окружен слоем кадмия.

Мощный поток γ -квантов вызывал пробой в счетчике, аналогичный пробой от осколков деления, причем при определенной интенсивности электронного тока (≈ 5 мка) частота отсчетов равнялась частоте посылок ускорителя. Это было, по-видимому, связано с большой плотностью ионизации молекул в объеме искрового счетчика. Так как указанные пробои возникали только во время импульса микротрона, то они не мешали наблюдению образования ядер в изомерном состоянии, поскольку регистрация их осколков производилась между импульсами. Эти пробои приводили лишь к тому, что счетчик начинал регистрировать осколки запаздывающего деления через 0,5 мсек после импульса γ -квантов.

Сигналы от детектора подавались на временной анализатор, запуск которого был синхронизован с токовым импульсом ускорителя с задержкой в 10 мсек.

Время записи осколков запаздывающего деления составило в анализаторе ≈ 2 мсек (4 мсек \times 512 каналов), скорость отсчетов была $\approx 10 \frac{1}{\text{мин}}$ при энергии γ -квантов 13 Мэв.

При снятии энергетической зависимости выхода осколков вынужденного деления для устранения пробоя от γ -лучей искровой счетчик отодвигался на 50-70 см от тормозной мишени. Ток электронов снижался до 1 мка. В данном случае пробои от γ -квантов отсутствовали. Это контролировалось тем, что относительный ход кривой возбуждения мгновенного деления не менялся при различных расстояниях счетчика от мишени микротрона (источника γ -лучей). В таких условиях можно было одновременно определять отношения выходов осколков, связанных с образованием изомеров и мгновенным делением.

Поскольку эффективность искрового счетчика могла изменяться в процессе длительной работы, регулярно проводилась калибровка отсчетов при выбранной нами энергии $E = 12,5$ Мэв и систематически проверялся также уровень фона.

Результаты измерений и их обработка

Полученные нами экспериментальные значения выходов запаздывающего и мгновенного деления в реакциях $^{241}\text{Am}(\gamma, n)$ ^{240}Am и $^{243}\text{Am}(\gamma, n)$ ^{242}Am в зависимости от энергии электронов приведены на рис. 2 и 3.

Идентификация изомера $^{240\text{mf}}\text{Am}$ проводилась по известному его периоду полураспада $T_{1/2} = 0,9$ мсек ^{/3/}. Кривая распада показана на рис. 4. В реакции $^{243}\text{Am}(\gamma, n)$ $^{242\text{mf}}\text{Am}$ заметного спада активности не было обнаружено, так как период полураспада изомера $^{242\text{mf}}\text{Am}$ $T_{1/2} = 14$ мсек ^{/4/} значительно больше промежутка времени между токовыми импульсами ускорителя.

Идентификация спонтанно делящегося изомера ^{242}Am основывалась на том, что обе реакции изучались в одинаковых условиях, наблюдался большой период полураспада ($T_{1/2} \gg 0,9$ мсек), и кривая выхода осколков была аналогична кривой для случая $^{240\text{mf}}\text{Am}$.

Так как при торможении электронов в мишени образуется непрерывный спектр γ -квантов, то наблюдаемый выход осколков деления (мгновенных или запаздывающих) связан с сечением реакции следующим интегральным соотношением:

$$Y(E_0) = k \int_{E_n}^{E_0} \sigma(E) \Phi(E, E_0) dE, \quad (1)$$

где E_0 - энергия электронов, E_n - порог реакции, $\sigma(E)$ - сечение реакции, $\Phi(E, E_0)$ - тормозной спектр γ -квантов.

k - коэффициент, связанный с геометрией опыта и количеством вещества мишени. Тормозной спектр для вольфрамовой мишени, рассчитанный для угла 0° , был взят из работы /5/.

Используя соотношение (1), мы проинтегрировали функцию возбуждения фотоделения ^{241}Am , измеренную в работе /6/. Рассчитанная кривая хорошо согласуется с измеренной нами зависимостью выхода осколков мгновенного деления ^{241}Am от граничной энергии γ -спектра (рис. 2).

Аналогичным способом была проинтегрирована функция возбуждения реакции образования спонтанно делящегося изомера. Сечение этой реакции имеет вид

$$\sigma_i = \sigma_f \frac{\Gamma_n}{\Gamma_f} \eta \left(1 - e^{-\frac{\Delta E}{T}} \right), \quad (2)$$

где σ_f - сечение фотоделения, Γ_n и Γ_f - соответственно нейтронная и делительная ширины, η - вероятность образования изомерного состояния, ΔE - энергия возбуждения, отсчитываемая от порога реакции, T - ядерная температура.

В расчетах использовались значения T , равные 0,7 и 1,5 Мэв, и различие полученных кривых невелико. По-видимому, реальная температура ядра заключена в этих пределах. В расчетах предполагалось также, что значение $\frac{\Gamma_n}{\Gamma_f}$, а также изомерное отношение, как было показано в работе /7/, остаются постоянными при изменении энергии. В случае ^{241}Am использовались сечения фотоделения, полученные в работе /6/, для ^{243}Am относительное изменение σ_i с энергией получено из наблюдаемого выхода осколков мгновенного деления (рис.3).

Совмещая рассчитанные таким способом зависимости выхода осколков запаздывающего деления от энергии γ -квантов с экспериментальными данными (рис. 2 и 3), можно определить пороги реакций,

приводящих к спонтанно делящимся изомерам. Эти пороги оказались равными $9,95 \pm 0,15$ Мэв для реакции $^{241}\text{Am}(\gamma, n) ^{240\text{m f}}\text{Am}$ и $9,55 \pm 0,15$ Мэв для реакции $^{243}\text{Am}(\gamma, n) ^{242\text{nf}}\text{Am}$. Пороги реакций, приводящих к основным состояниям ^{240}Am и ^{242}Am , совпадают, очевидно, с энергиями связи нейтронов в этих ядрах, которые равны соответственно $6,70 \pm 0,20$ Мэв, $6,27 \pm 0,03$ Мэв ^{/8/}. Разницу порогов можно, по-видимому, рассматривать как энергию возбуждения изомерных состояний, равную $3,25 \pm 0,25$ Мэв для $^{240\text{m f}}\text{Am}$ и $3,30 \pm 0,20$ Мэв для $^{242\text{m f}}\text{Am}$. Оба эти результата совпадают в пределах ошибок с измеренными ранее энергиями возбуждения, равными соответственно $3,15 \pm 0,25$ Мэв ($^{240\text{m f}}\text{Am}^{/3/}$) и $2,9 \pm 0,4$ Мэв ($^{242\text{m f}}\text{Am}^{/9/}$).

В нашей работе были измерены также отношения выходов осколков запаздывающего и мгновенного деления, равные $(4 \pm 1) \cdot 10^{-4}$ для ^{241}Am при энергии γ -квантов 13 Мэв и $(7 \pm 2) \cdot 10^{-4}$ для ^{243}Am при энергии 12,5 Мэв. С помощью соотношения (1) были получены отношения сечений при этих энергиях: $(1,0 \pm 0,25) \cdot 10^{-3}$ для ^{241}Am и $(1,3 \pm 0,4) \cdot 10^{-3}$ для ^{243}Am . Зная величину сечения фотоделения $^{241}\text{Am}^{/6/}$, можно определить сечение образования изомера $^{240\text{m f}}\text{Am}$, которое оказалось равным 150 ± 40 мкбарн. Если использовать $\frac{\Gamma_f}{\Gamma_n + \Gamma_f} = 0,32^{/6/}$, то изомерное отношение для реакции $^{241}\text{Am}(\gamma, n) ^{240}\text{Am}$ окажется равным $(5 \pm 1,2) \cdot 10^{-4}$, что близко к значениям, полученным в реакциях с заряженными частицами и нейтронами. В случае $^{242\text{m f}}\text{Am}$ проведение подобных расчетов изомерного отношения невозможно из-за отсутствия абсолютных величин σ_f и $\frac{\Gamma_f}{\Gamma_n + \Gamma_f}$.

Полученные в нашей работе результаты показывают, что фотоядерные реакции могут успешно использоваться для исследования свойств спонтанно делящихся изомеров. Эти реакции позволят расширить круг исследуемых ядер, а также измерить энергии возбуждения изомерных состояний.

Авторы выражают глубокую благодарность академикам П.Л. Капице и Г.Н. Флерову за поддержку и постоянный интерес к работе.

Авторы благодарят также С.П. Капицу и С.М. Поликанова за полезные обсуждения, К.А. Гаврилова и Ю.С. Короткина за изготовление мишеней.

Л и т е р а т у р а

1. С.П. Капица, В.Н. Мелехин, Б.С. Закиров, Л.М. Зыкин, Э.А. Лукьяненко, Ю.М. Ципенюк. ПТЭ, 1, 13 (1969).
2. Ю.П. Гангрский, Б. Далхсурен, Ю.А. Лазарев, Б.Н. Марков, Нгуен Конг Кхань. Препринт ОИЯИ, 13-4551, Дубна 1969; ПТЭ (в печати).
3. S.Bjornholm, J.Borggreen, L.Westgaard, V.A.Karnaukhov. Nucl. Phys., A95, 517 (1967).
4. С.М. Поликанов, В.А. Друин, В.А. Карнаухов, В.Л. Михеев, А.А. Плева, Н.К. Скобелев, В.Г. Субботин, Г.М. Тер-Акопьян, В.А. Фомичев. ЖЭТФ, 42, 1464 (1962).
5. С.П.Капица, Н.С.Работнов, Г.Н.Смиренкин, А.С.Солдатов, Л.Н.Усачёв, Ю.М.Ципенюк. Письма в ЖЭТФ, 9, в.2, 128 (1969).
6. L.Katz, A.P.Baerg, F.Brown. PUAЕ, 15, 188 (P/200), 1958.
7. Г.Н. Флеров, Ю.П. Гангрский, Б.Н. Марков, А.А. Плева, С.М. Поликанов, Х. Юнгклауссен. ЯФ, 6, 17 (1967).
8. J.H.Mattauch, W.Thiele, A.H.Wapstra. Nucl. Phys., 67, 1 (1965).
9. G.N.Flerov, A.A.Pleve, S.M.Polikanov, S.P.Tretiakova, N.Martalogu, D.Poenaru, M.Sezon, J.Vilkov, N.Vilkov. Nucl. Phys., A97, 444 (1967).

Рукопись поступила в издательский отдел

23 июня 1969 года.

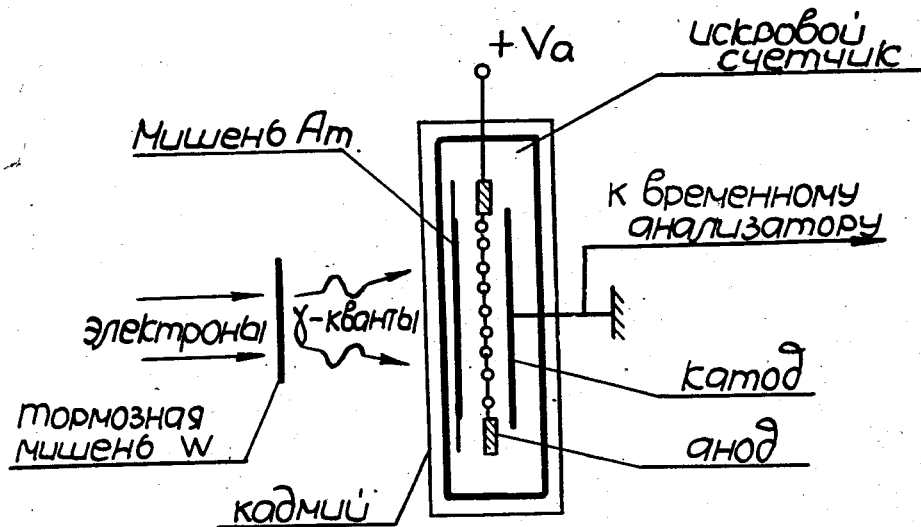


Рис.1. Схема эксперимента.

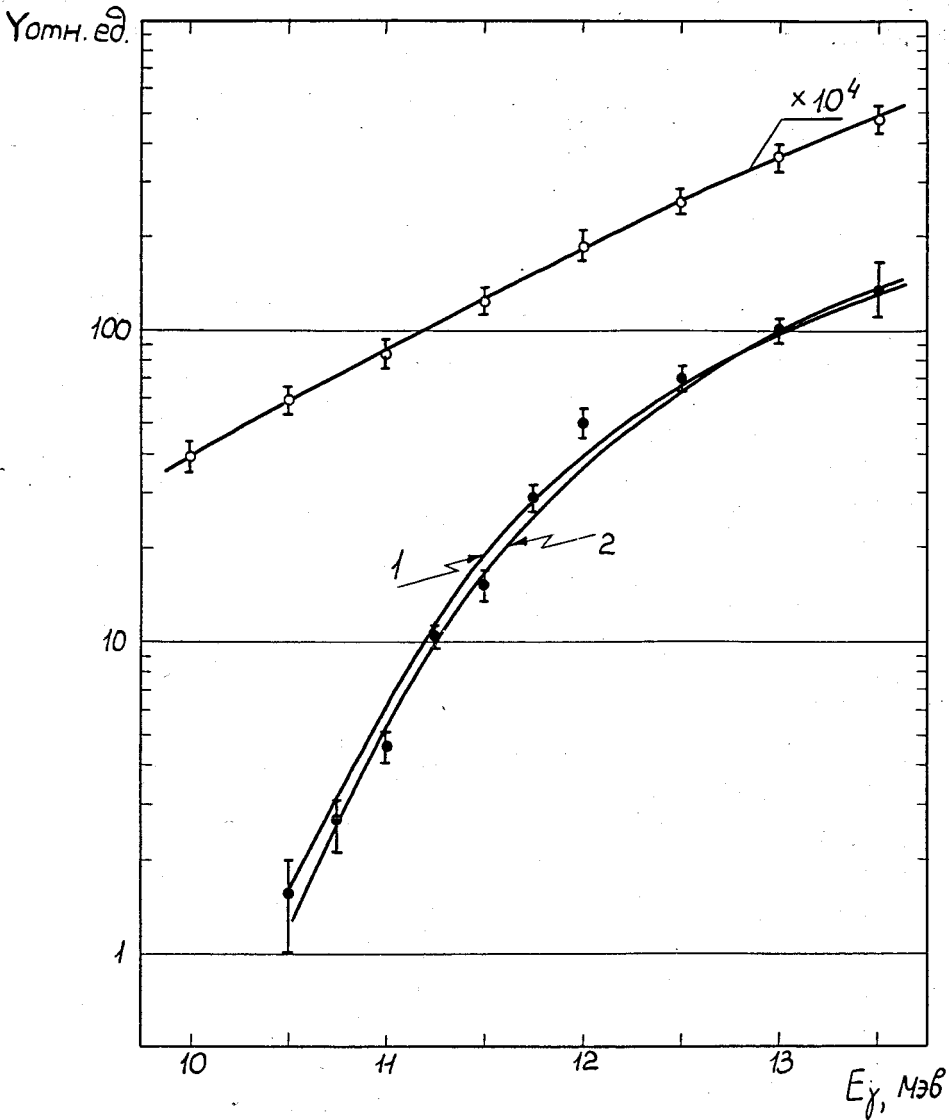


Рис.2. Зависимость выхода осколков мгновенного (\circ) и запаздывающего (\bullet) деления (Y) от граничной энергии γ -квантов (E_γ) при облучении ^{241}Am . 1 - рассчитанная кривая при $T=0,7\text{МэВ}$; 2 - при $T=1,5\text{МэВ}$.

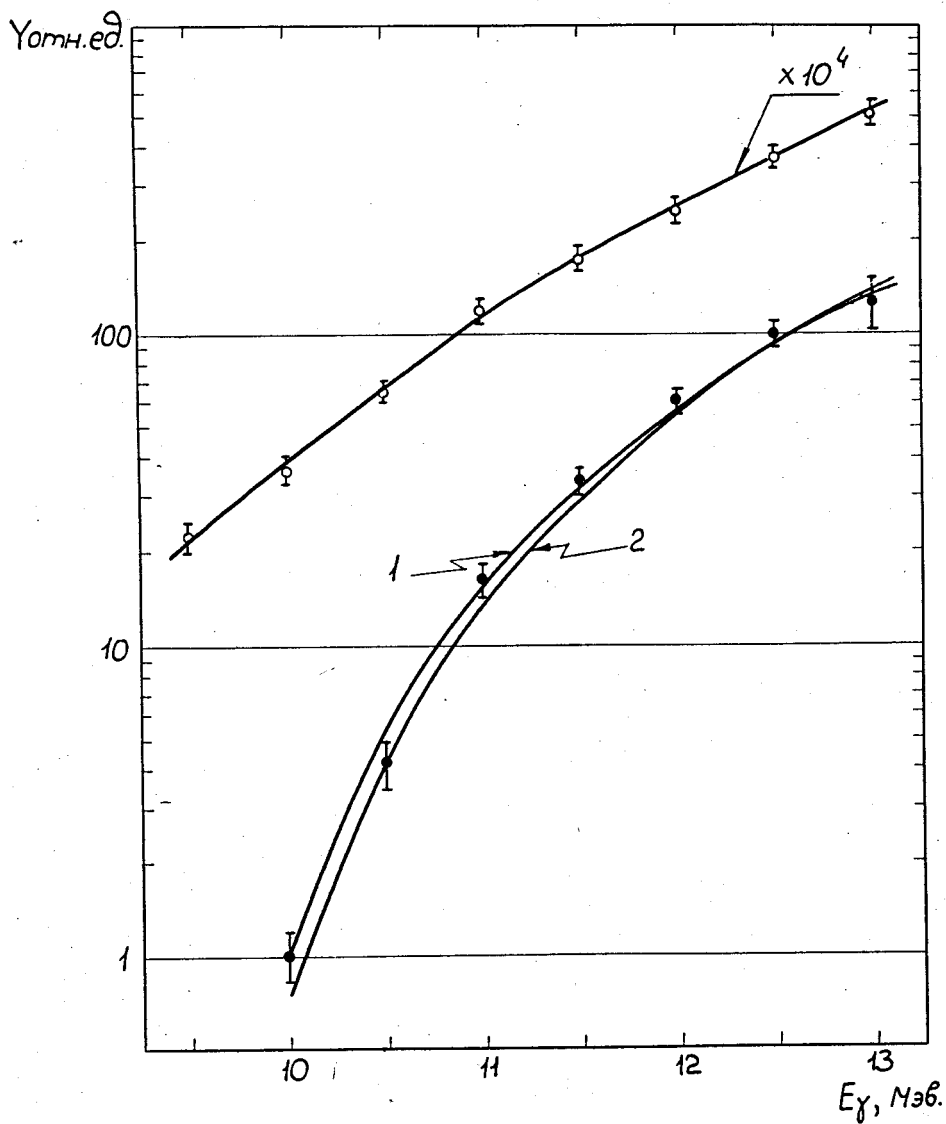


Рис.3. Зависимость выхода осколков мгновенного (o) и запаздывающего (●) деления (Y) от граничной энергии γ -квантов (E_γ) при облучении ^{243}Am . 1 - рассчитанная кривая при $T = 0,7$ Мэв; 2 - при $T = 1,5$ Мэв.

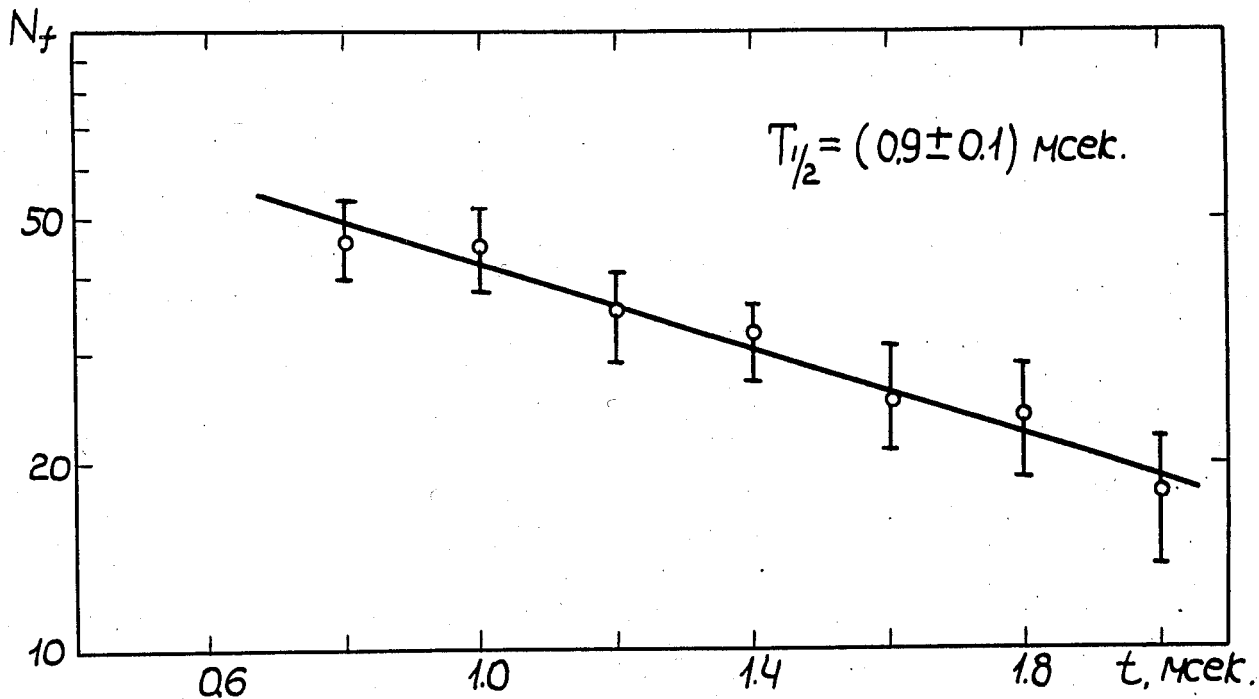


Рис.4. Зависимость счета осколков запаздывающего деления от времени при облучении ^{241}Am γ -квантами с граничной энергией 12,5 Мэв.