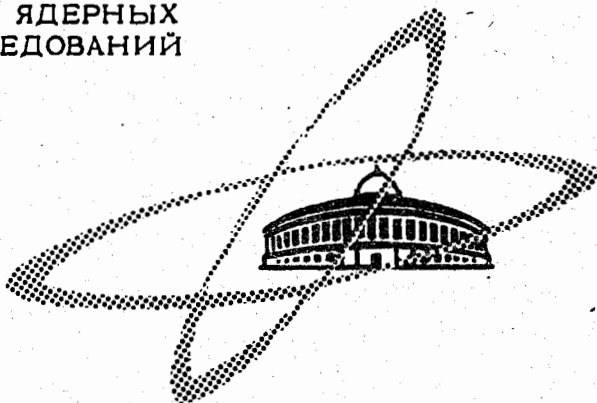


5497

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



P7 - 5497

А. Г. Белов, Ю. П. Гангрский, Б. Далхсурен,  
А. М. Кучер

ПОЛУЧЕНИЕ СПОНТАННО ДЕЛЯЩЕГОСЯ  
ИЗОМЕРА  $^{236}\text{U}$  ПРИ РАДИАЦИОННОМ  
ЗАХВАТЕ ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ

P7 - 5497

А.Г. Белов, Ю.П. Гангрский, Б. Далхсурен,  
А.М. Кучер

ПОЛУЧЕНИЕ СПОНТАННО ДЕЛЯЩЕГОСЯ  
ИЗОМЕРА  $^{236}\text{U}$  ПРИ РАДИАЦИОННОМ  
ЗАХВАТЕ ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ

Направлено в ЯФ

Исследование спонтанно делящихся изомеров представляет большой интерес, т.к. эти изомеры, по-видимому, связаны с необычными состояниями ядер. Ряд свойств спонтанно делящихся изомеров и особенностей образования их в различных ядерных реакциях указывает на сложную структуру барьера деления. Расчеты В.М. Струтинского <sup>/1/</sup> показали, что реальный барьер деления может иметь двугорбую форму (рис. 1). Изомерное состояние является нижним уровнем во второй, более мелкой, потенциальной яме. Барьер, разделяющий потенциальные ямы, является причиной запрета для  $\alpha$  - и  $\gamma$  -переходов, которые до настоящего времени еще не обнаружены. Поэтому основным источником сведений об изомерных состояниях служат ядерные реакции образования этих состояний. При этом, естественно, наиболее определенные результаты можно получить из анализа самых простых реакций, таких, например, как реакции радиационного захвата тепловых нейтронов. Анализ этих реакций на основе модели двугорбого барьера позволяет получить ряд сведений о его форме.

Были исследованы реакции радиационного захвата тепловых нейтронов, приводящие к спонтанно делящимся изомерам  $^{242}\text{Am}$  и  $^{244}\text{Am}$  /2/. Однако методика, использованная в этой работе (импульсный пучок тепловых нейтронов и измерение выхода осколков деления между импульсами), не позволяет распространить подобного рода измерения на другие спонтанно делящиеся изомеры, которые, как правило, имеют времена жизни порядка микро- и наносекунд.

В случае изомерных состояний с временами жизни менее 1 мксек можно использовать другой способ наблюдения спонтанно делящегося изомера, образующегося при захвате теплового нейтрона. Поскольку образованию спонтанно делящегося изомера предшествует каскад  $\gamma$ -квантов, то осколки деления от распада изомера будут задержаны по отношению к этим  $\gamma$ -квантам, причем величина задержки определяется временем жизни изомерного состояния. Таким образом, наблюдение запаздывающих совпадений осколков деления и  $\gamma$ -квантов в постоянном потоке тепловых нейтронов будет указывать на образование спонтанно делящегося изомера. Наличие целого ряда изомерных состояний в осколках деления не может исказить эти измерения, т.к. в этом случае  $\gamma$ -кванты задержаны по отношению к осколкам. Такая методика, кроме того, позволяет измерить спектр  $\gamma$ -излучения, заселяющего изомерное состояние и таким образом построить схему уровней, связанных с изомерным состоянием. Эта схема уровней существенно зависит от природы изомерного состояния, поэтому измерения таких спектров  $\gamma$ -излучения представляют большой интерес.

Такого рода методика была использована в данной работе для наблюдения спонтанно делящегося изомера  $^{236}\text{U}$  при захвате тепловых нейтронов. Этот изомер с периодом полураспада 100 нсек известен из реакций с дейтонами  $^3\text{-}5/$  и быстрыми нейтронами  $^6,7/$ . Поскольку в ядре урана переходы с энергией ниже 150 кэв практически полностью конвертированы, удобнее измерять совпадения электронов конверсии с осколками ( $e-f$ -совпадения).

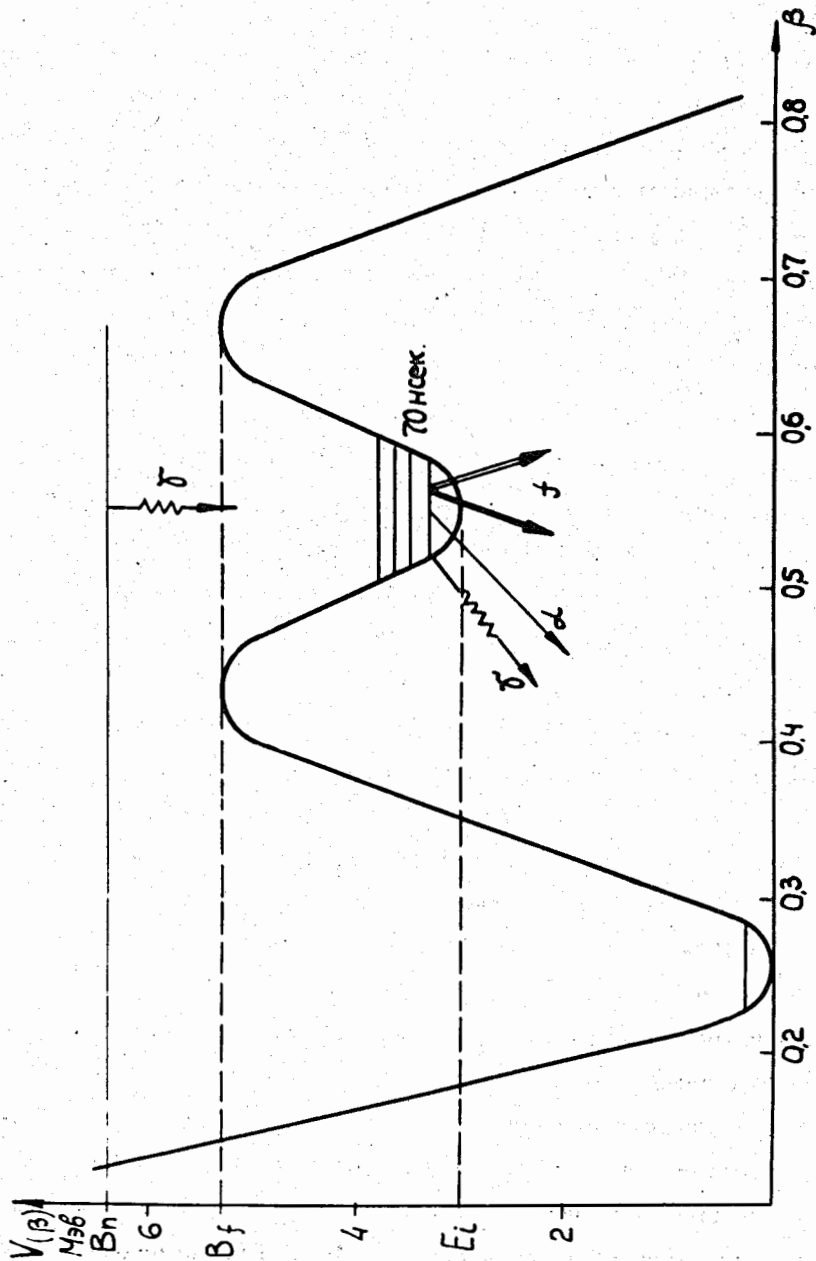


Рис. 1. Двугорбый барьер деления.

$\beta$  - деформация ядра

$V(\beta)$  - потенциальная энергия деформации

$V_n$  - энергия связи нейтрона

$V_f$  - барьер деления

$E_1$  - энергия изомерного уровня.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 2. Нейтроны с энергией 14,7 Мэв, получаемые в реакции  $^3\text{H} + \text{d}$  на нейтронном генераторе НГ-200, замедлялись до тепловых энергий в блоке из парафина. Между парафином и детекторами осколков и электронов конверсии помещался свинцовый экран толщиной 10 см для защиты от фона  $\gamma$ -излучения. Детекторы были окружены графитовым отражателем для увеличения потока тепловых нейтронов. Поток тепловых нейтронов интенсивностью  $10^5 \frac{\text{н}}{\text{см}^2 \text{сек}}$  облучал мишень из  $^{235}\text{U}$  толщиной 2 мг/см<sup>2</sup>, площадью 4 см<sup>2</sup>, нанесенную на алюминиевую подложку толщиной 7 мк. Осколки деления из мишени регистрировались кремниевым поверхностно-барьерным детектором, а электроны конверсии - пластическим сцинтиллятором толщиной 80 мк и диаметром 30 мм, укрепленным на фотоумножителе ФЭУ-36. Малая толщина сцинтиллятора была выбрана для уменьшения фона от  $\gamma$ -излучения, вызываемого потоком нейтронов в замедлителе, свинце, детекторах осколков и электронов. Импульсы с фотоумножителя поступали на "быстрый" дискриминатор, который отбирал электроны конверсии в диапазоне энергий 30-150 кэв, а с дискриминатора - на один из входов преобразователя время-амплитуда (на другой вход поступали усиленные импульсы с полупроводникового детектора). Преобразованный таким образом из временного в амплитудный спектр импульсов подавался на 128-канальный амплитудный анализатор.

Для поисков других ветвей разрядки изомерных состояний измерялись также совпадения электронов конверсии в том же диапазоне энергий с  $\alpha$ -частицами с энергией выше 5 Мэв ( $e-\alpha$ -совпадения) и с электронами конверсии с энергией выше 30 кэв ( $e-e$ -совпадения). Для регистрации  $\alpha$ -частиц использовался кремниевый поверхностно-барьерный детектор, защищенный алюминиевой фольгой от осколков деления и  $\alpha$ -частиц от распада  $^{235}\text{U}$ . При измерениях  $e-e$ -совпадений применялись два идентичных фотоумножителя с тонкими (80мк) пластическими сцинтилляторами.

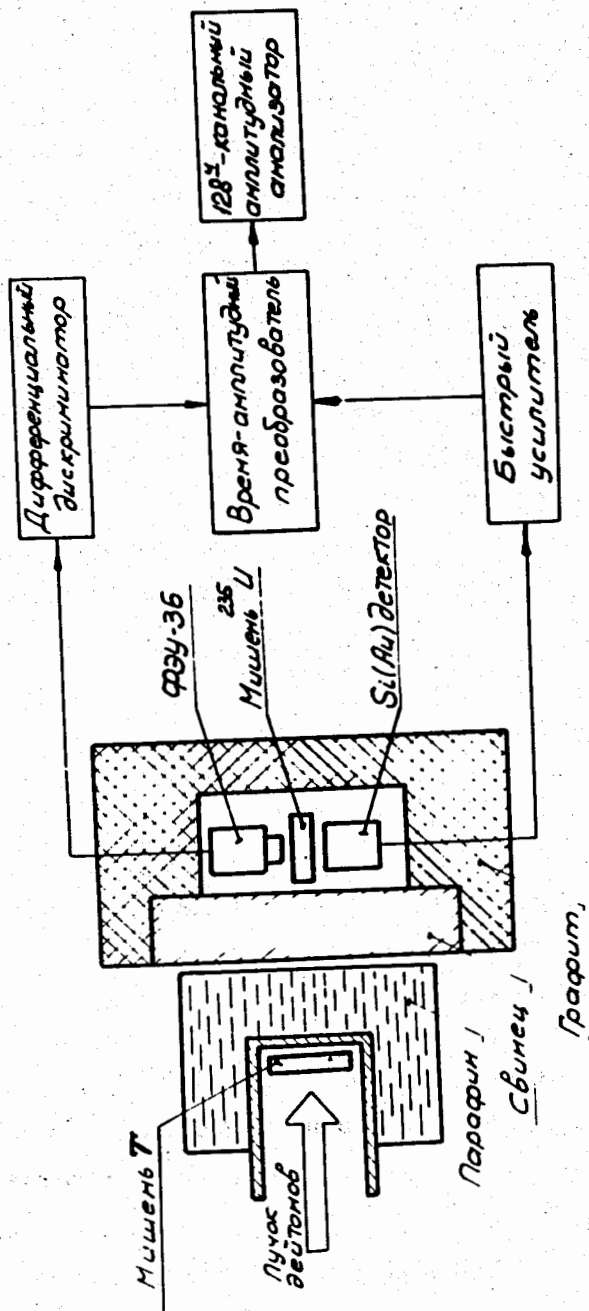


Рис. 2. Схема экспериментальной установки.

Зависимость числа  $e - f$ ,  $e - \alpha$  и  $e - e$  -совпадений от времени задержки представлена на рис. 3-5. Ветвь задержанных  $e - f$  совпадений (рис. 3) с периодом полураспада  $70 \pm 20$  нсек указывает на образование спонтанно делящегося изомера  $^{236}\text{U}$  при радиационном захвате тепловых нейтронов. Отношение числа запаздывающих совпадений к числу измеренных в течение опыта осколков оказалось равным  $(1,2 \pm \pm 0,4) \cdot 10^{-4}$ . Отсутствие задержанных  $e - \alpha$  - и  $e - e$  -совпадений с таким же периодом позволило определить верхние границы для соответствующих видов распада. Оказалось, что число  $\alpha$  -частиц с энергией выше 5 Мэв менее 0,25, а число электронов конверсии с энергией выше 30 кэв менее 10 от числа осколков деления.

Чтобы из измеренного на опыте отношения числа задержанных  $e - f$  совпадений к числу осколков деления получить отношение сечений образования изомера  $^{236}\text{U}$  и деления ( $\frac{\sigma_i}{\sigma_f}$ ), необходимо знать вклад других путей разрядки изомерного состояния и числа электронов конверсии на один акт образования изомера. Из полученной верхней границы для конверсионных электронов видно, что учет вклада  $\gamma$  -излучения с изомерного уровня может существенно изменить сечение образования спонтанно делящегося изомера  $^{236}\text{U}$ . Однако такая ситуация характерна и для всех других спонтанно делящихся изомеров: измеряется лишь выход осколков деления, а верхняя граница для ветви  $\gamma$  -излучения всегда достаточно высокая. Число электронов конверсии на один акт образования изомера существенно зависит от схемы уровней, связанной с изомерным состоянием. Если сначала происходит заселение уровней ротационной полосы, построенной на изомерном состоянии, а затем имеют место переходы между ротационными уровнями, то при этом испускается 1-2 электрона конверсии. Поэтому можно полагать, что величина  $\frac{\sigma_i}{\sigma_f}$  будет того же порядка, что и измеренное отношение числа задержанных  $e - f$  совпадений к числу осколков, т.е.  $\approx 10^{-4}$ . Поскольку для ядра



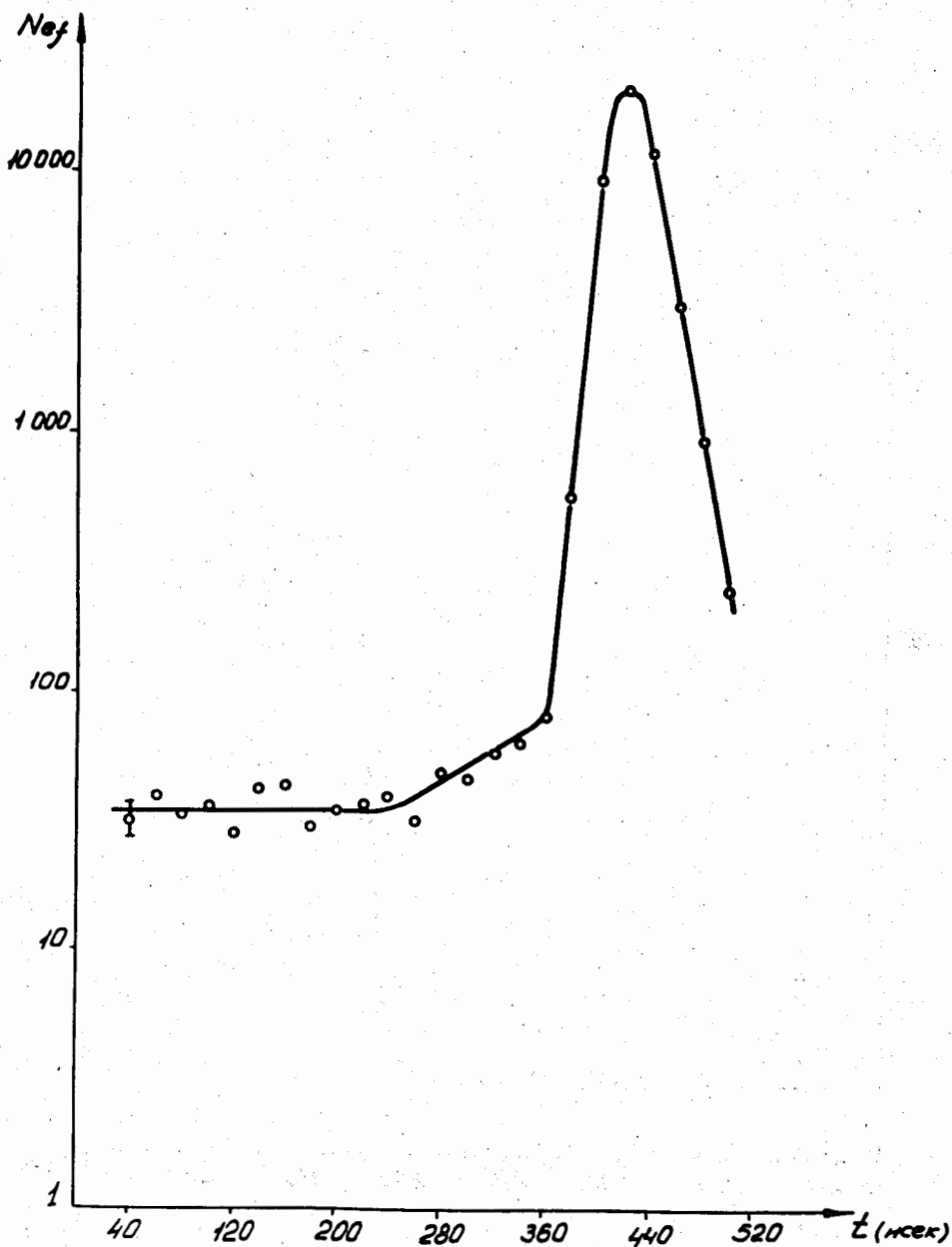


Рис. 3. Зависимость числа совпадений электронов конверсии с осколками от времени задержки.

$N_{ef}$  - число совпадений  
 $t$  - время задержки.

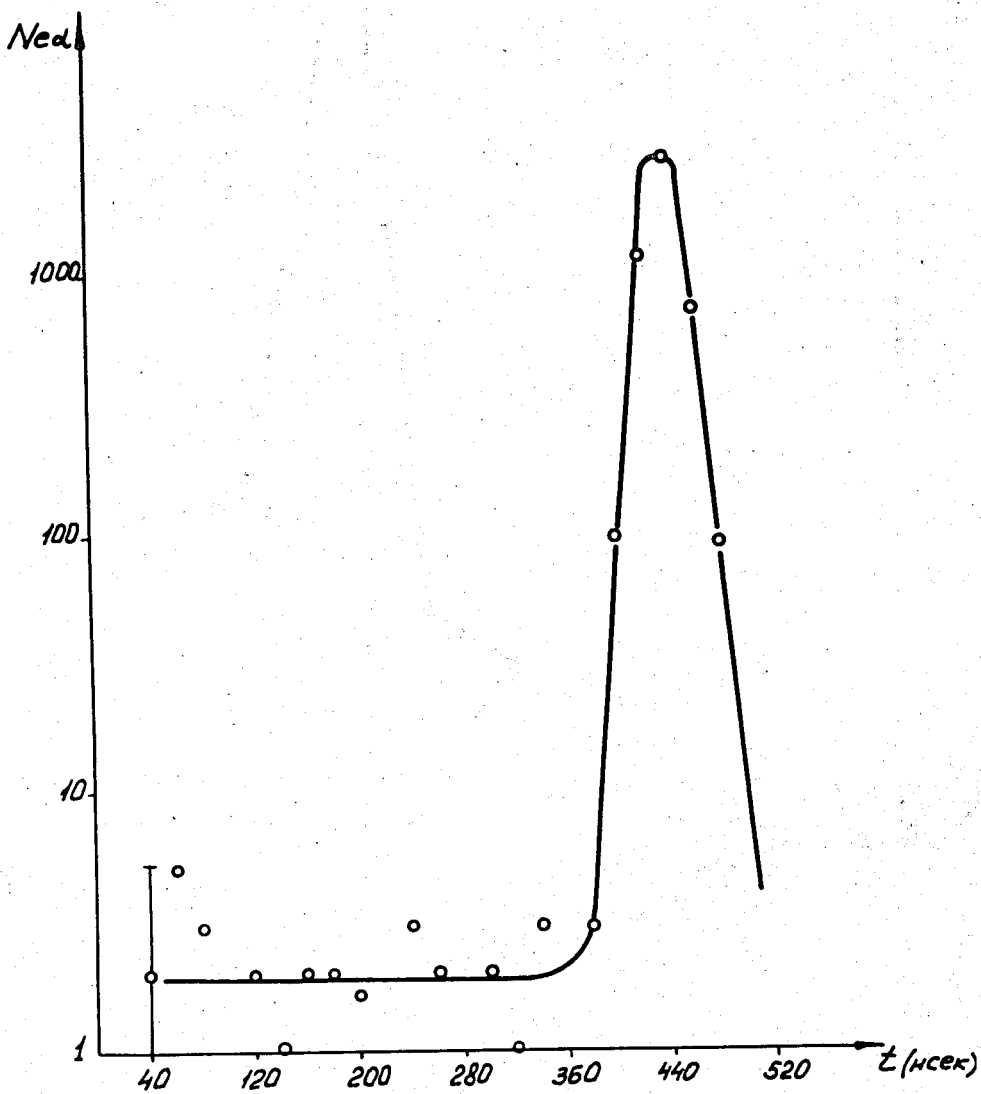


Рис. 4. Зависимость числа совпадений электронов конверсии с  $\alpha$ -частицами от времени задержки.

$N_{e\alpha}$  - число совпадений  
 $t$  - время задержки.

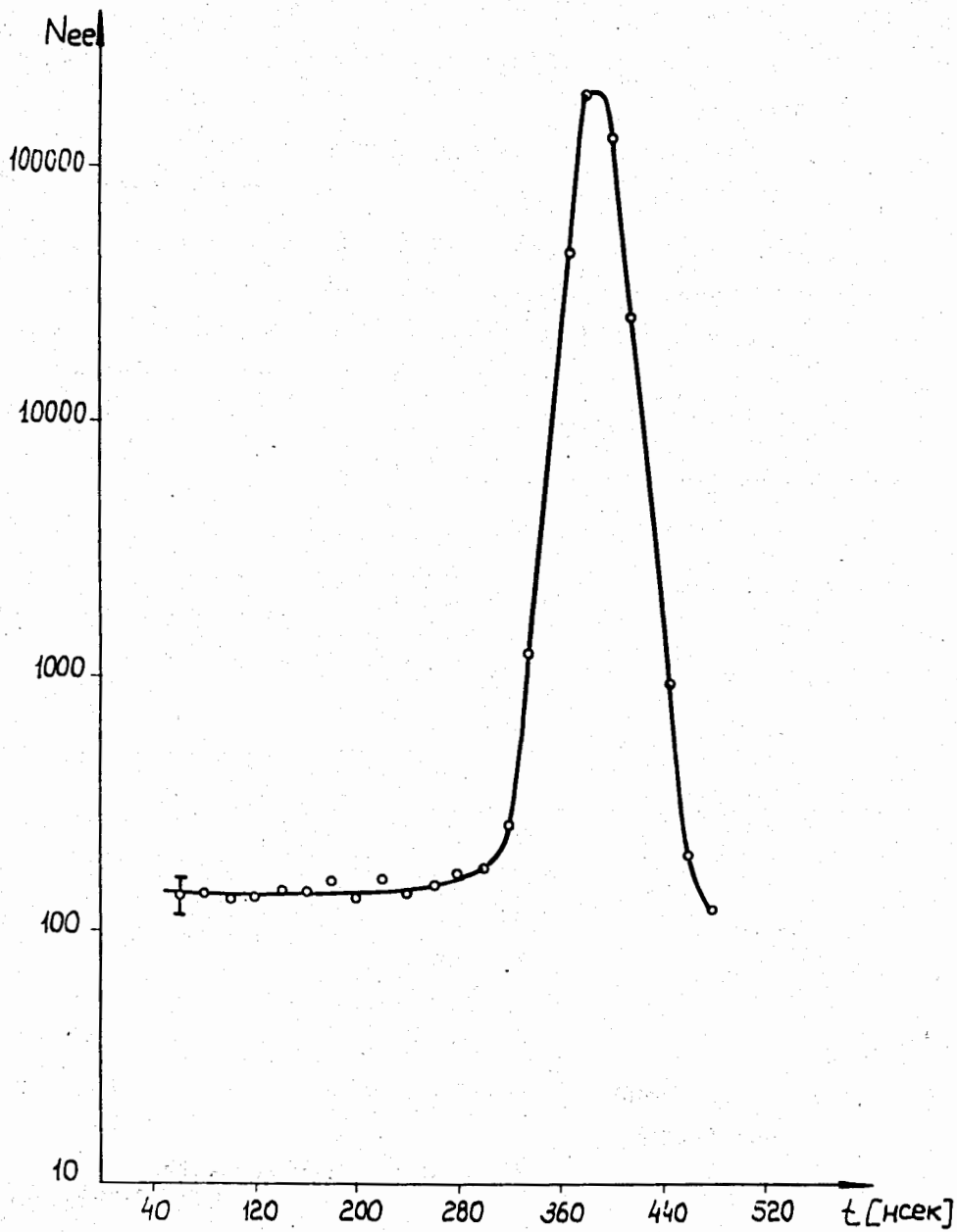


Рис. 5. Зависимость числа совпадений между электронами конверсии от времени задержки.

$N_{ee}$  - число совпадений  
 $t$  - время задержки.

$^{235}\text{U}$  сечение деления в 5,5 раз больше сечения радиационного захвата тепловых нейтронов, то изомерное отношение (отношение сечений образования изомера к сечению образования ядра в основном состоянии  $-\frac{\sigma_i}{\sigma_g}$ ) составляет  $\approx 5 \cdot 10^{-4}$ . Эта величина близка к изомерным отношениям в реакциях с заряженными частицами, приводящих к спонтанно делящимся изомерам америция и плутония /3,8/.

Представляет интерес провести сравнение полученных в данной работе отношений  $\frac{\sigma_i}{\sigma_f}$  и  $\frac{\sigma_i}{\sigma_g}$  с соответствующими отношениями для реакций  $^{241}\text{Am} (n, \gamma) ^{242m}\text{Am}$  с тепловыми нейтронами /2/. В то время как отношения  $\frac{\sigma_i}{\sigma_f}$  близки по величине ( $\approx 10^{-4}$ ), отношение  $\frac{\sigma_i}{\sigma_g}$  для  $^{236}\text{U}$  в 1000 раз больше, чем для  $^{242m}\text{Am}$ . Такое большое различие отношений  $\frac{\sigma_i}{\sigma_g}$  объясняется в модели двугорбого барьера тем, что высота барьера, разделяющего основное и изомерное состояния, больше энергии связи нейтрона в ядре  $^{242}\text{Am}$  и меньше в ядре  $^{236}\text{U}$ .

В заключение авторы выражают благодарность академику Г.Н. Флерову за постоянный интерес к работе.

#### Литература

1. V.M. Strutinsky. Nucl.Phys., A95, 429 (1967).
2. B. Dalkhsuren, G.N. Flerov, Yu.P. Gangrsky, Yu.A. Lasarev, B.N. Markov, Nguyen cong Khanh. Nucl.Phys., A148, 492(1970).
3. N.L. Lark, G. Sletten, J. Pedersen, S. Bjørnholm. Nucl. Phys., A139, 481 (1969).
4. R. Repnow, V. Metag, J.D. Fox, P. Von Brentano. Nucl. Phys., A147, 183(1970).
5. K.L. Wolf, R. Vandenbosh, P.A. Rusco, M.K. Mehta, C.R. Rudy. Phys.Rev., C1, 2096 (1970).
6. A.E. Elwyn, A.T.G. Fergusson. Nucl.Phys., A148, 337 (1970).

7. I. Boca, M. Sezon, I. Vilcov, N. Vilcov. Preprint IFA, CRD-42-1970.
8. S.C. Burnett, H.C. Britt, B.H. Erkkila, W.E. Stein. Phys.Lett., 31B, 523 (1970).

Рукопись поступила в издательский отдел

7 декабря 1970 года.

Получение спонтанно делящегося изомера  $^{236}\text{U}$  при радиационном захвате тепловых нейтронов

Получен спонтанно делящийся изомер  $^{236}\text{U}$  с  $T_{1/2} = 70$  нсек при радиационном захвате тепловых нейтронов. Отношение сечений реакций образования изомера и деления  $\approx 10^{-4}$ . Измерялись запаздывающие совпадения электронов конверсии и осколков деления.

**Препринт Объединенного института ядерных исследований.  
Дубна, 1970**

Belov A.G., Gangrsky Yu.P., Dalkhsuren B.,  
Kucher A.M.

P7-5497

Production of the Spontaneously Fissionable Isomer  
 $^{236}\text{U}$  at the Radiative Thermal Neutron Capture

The spontaneously fissionable isomer  $^{236}\text{U}$  with  $T_{1/2} = 70$  ns was produced at the radiative capture of thermal neutrons. The ratio between the cross section of the reaction, leading to the isomer production, and the fission is about  $10^{-4}$ . Delayed conversion electron coincidences and the fission fragments were measured.

**Preprint. Joint Institute for Nuclear Research.  
Dubna, 1970**