

Б-435

744/2-76

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



1/11-76

P6 - 9397

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

ПОИСКИ ЭЛЕКТРОНОВ КОНВЕРСИИ,  
ИСПУСКАЕМЫХ ПРИ РАСПАДЕ  
СПОНТАННО ДЕЛЯЩИХСЯ ИЗОМЕРОВ

**1975**

P6 - 9397

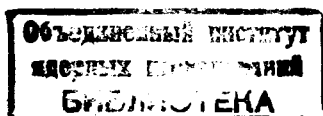
А.Г.Белов, Ю.П.Гангрский, Б.Далхсурен,\* М.Б.Миллер

ПОИСКИ ЭЛЕКТРОНОВ КОНВЕРСИИ,  
ИСПУСКАЕМЫХ ПРИ РАСПАДЕ  
СПОНТАННО ДЕЛЯЩИХСЯ ИЗОМЕРОВ

*Направлено в "Известия АН СССР" /сер. физ./*

---

\* Монгольский государственный университет  
(Улан-Батор).



Спонтанное деление является наиболее доступным для наблюдения и поэтому наиболее изученным способом распада спонтанно делящихся изомеров - нижних состояний во второй потенциальной яме /рис. 1//1/. В то же время, как и для обычных изомерных состояний, возможен и другой вид распада - радиационные переходы на уровни в первой потенциальной яме. Эти переходы будут заторможены из-за большой разницы в деформациях и наличия потенциального барьера, разделяющего основное и изомерное состояния. Измерения интенсивности ветви  $\gamma$ -излучения с изомерного уровня позволяют определить величину запрета для переходов между состояниями с разной деформацией, а также более детально судить о форме потенциального барьера ядра. Поэтому опыты по поискам этого  $\gamma$ -излучения представляют большой интерес.

Однако обнаружение ветви  $\gamma$ -излучения при распаде спонтанно делящихся изомеров представляет большие трудности, т.к. сечение образования этих состояний много меньше сечений других реакций /в первую очередь реакции деления/. Вследствие этого  $\gamma$ -линии, связанные с распадом изомерного состояния, трудно увидеть на фоне интенсивного  $\gamma$ -излучения из осколков деления. Среди активностей, образующихся при делении ядер, присутствуют изотопы и изомеры со всевозможными периодами полураспада, в том числе и с близкими к периодам полураспада изучаемых спонтанно делящихся изомеров, и это еще более затрудняет идентификацию  $\gamma$ -линий. Из-за этих трудностей большинство попыток по поискам ветви  $\gamma$ -излучения при распаде спонтанно делящихся изомеров были неудачными. Вследствие недостаточной чувствительности опытов установлена лишь верхняя граница

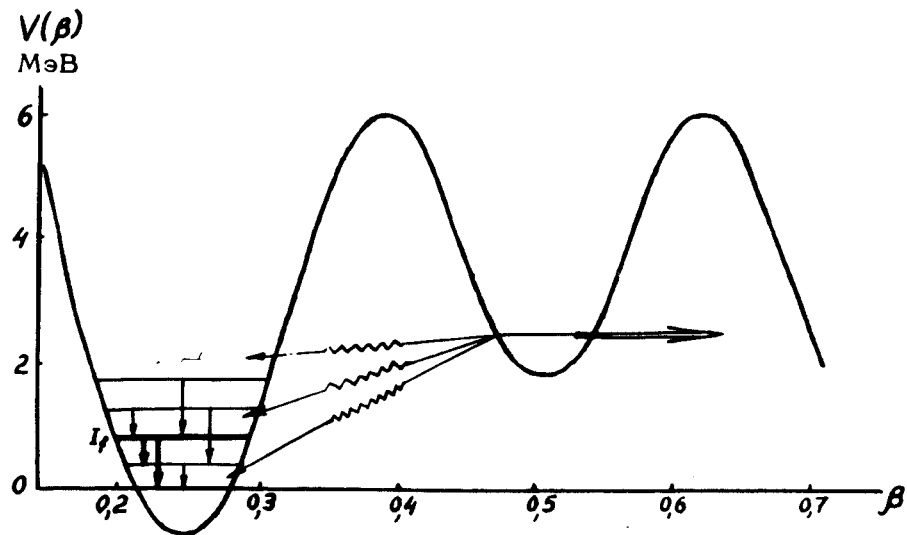


Рис. 1. Зависимость потенциальной энергии ( $V(\beta)$ ) от деформации ядра ( $\beta$ ) и схема радиационных переходов с изомерного уровня. Толстыми линиями выделены исследуемый уровень и переходы с него.

интенсивности  $\gamma$ -излучения — 10  $\gamma$ -квантов на один акт спонтанного деления из изомерного состояния  $^{242}\text{Am}/2/$  и  $^{236}\text{U}/3/$ . Только в работе<sup>/4/</sup> наблюдались две  $\gamma$ -линии с энергиями 2514 и 1879 кэВ и интенсивностями соответственно 15 и 7  $\gamma$ -квантов на акт спонтанного деления, которые были приписаны распаду спонтанно делящегося изомера  $^{238}\text{U}$ .

Большую чувствительность измерений и более надежную идентификацию  $\gamma$ -переходов с изомерного уровня можно осуществить, если измерять спектр электронов конверсии. Действительно, выход электронов конверсии из осколков деления /основного источника фона/ в несколько раз меньше, чем  $\gamma$ -квантов. Кроме того, расстояния между конверсионными линиями с различных оболочек или подоболочек /K, L<sub>I</sub>, L<sub>II</sub>, L<sub>III</sub>, M/ являются функцией атомного номера излучателя. Поэтому они будут существенно разными для радиационных переходов в оскол-

ках деления и в тяжелых ядрах, где имеются спонтанно делящиеся изомеры. Так как спонтанно делящиеся изомеры характеризуются высокой энергией /~2,5 МэВ/ и малым спином, то радиационные переходы непосредственно с изомерного состояния на уровни в первой потенциальной яме, по-видимому, будут иметь большую энергию /1,5-2,5 МэВ/, низкую мультипольность /E1, M1, E2/, и поэтому очень слабо конвертированы. Однако эти переходы будут заселять нижние уровни в первой потенциальной яме. Схема уровней и переходов между ними для большинства исследуемых ядер хорошо известна. Как правило, имеется целый ряд сильно конвертированных переходов в диапазоне энергий 50-300 кэВ. Обнаружение в спектре конверсионных линий от этих переходов с соотношением интенсивностей, характерным для исследуемого ядра, и распадающихся с периодом полураспада спонтанно делящегося изомера будет свидетельствовать о существовании ветви  $\gamma$ -излучения с изомерного уровня. Хотя такой метод и не позволяет наблюдать переходы непосредственно с изомерного уровня, он дает надежную идентификацию самого факта существования ветви  $\gamma$ -излучения.

Вторым условием успешных поисков ветви  $\gamma$ -излучения является выбор реакций с наибольшим отношением сечений образования спонтанно делящегося изомера ( $\sigma_i$ ) и мгновенного деления ( $\sigma_f$ ). Такими реакциями являются реакции с  $\gamma$ -квантами ( $\gamma, \gamma'$ ), ( $\gamma, n$ ) и нейтронами ( $n, n'$ ) и ( $n, 2n$ ), где  $\sigma_i / \sigma_f$  составляет  $10^{-3}-10^{-4}$  /5,6/.

Эти требования и определили методику измерений: эксперименты проводились на нейтронном генераторе и микротроне с 17 орбитами. Блок-схема установки представлена на рис. 2. Облучаемая мишень и детектор электронов находились внутри магнитной катушки, которая служила для транспортировки электронов конверсии от мишени к детектору. Принцип действия такого устройства описан в работе<sup>/7/</sup>. Из-за большого расстояния между детектором и мишенью фон  $\gamma$ -излучения из мишени был существенно снижен. При этом эффективность регистрации электронов оставалась достаточно высокой /20% для энергий до 300 кэВ/. Фон от электронов из осколков деления был уменьшен тем, что регистрация электронов

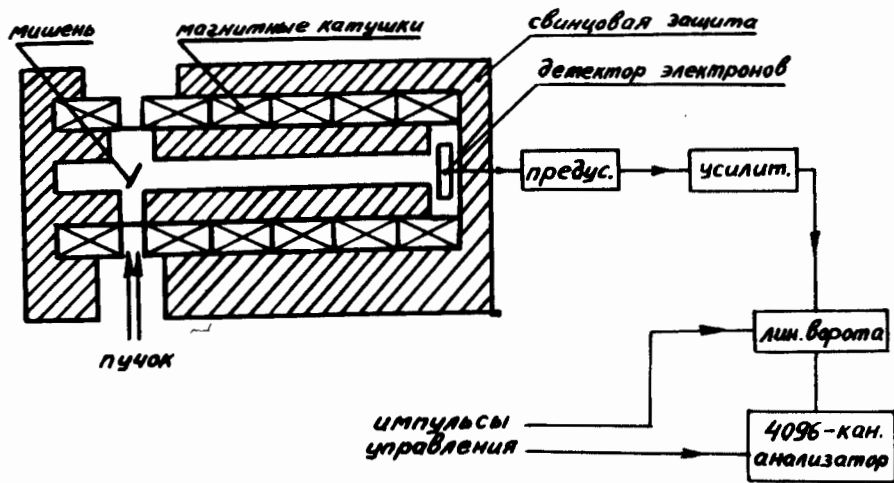


Рис. 2. Блок-схема экспериментальной установки.

с указанной выше эффективностью имела место лишь тогда, когда электроны вылетали непосредственно из мишени. Электроны из осколков деления, вылетевших из мишени и осевших на стенках камеры, коллиматоре и т.д., практически не попадали в детектор. В ряде случаев облучаемые мишени  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{243}\text{Am}$  характеризовались высокой  $\alpha$ - и  $\beta$ -активностью. Для защиты от этого излучения на пути электронов конверсии помещался поглотитель из алюминия толщиной до 50 мк. Этот поглотитель определял нижнюю границу измеряемого в опыте спектра электронов конверсии.

Такая методика измерений имела чувствительность, позволяющую измерять конверсионные линии с выходами, составляющими  $10^{-4}$  от выхода осколков вынужденного деления. При такой чувствительности измерений и при выборе реакций, у которых  $\sigma_i / \sigma_f \approx 10^{-3} - 10^{-4}$ , можно наблюдать ветвь  $\gamma$ -излучения с изомерного уровня, по интенсивности сравнимую с ветвью спонтанного деления.

Интенсивность нейтронов, попадаемых на мишень,

составляла  $10^9 \frac{1}{\text{сек} \cdot \text{см}^2}$ , а интенсивность  $\gamma$ -квантов -

$10^{12} \frac{1}{\text{сек} \cdot \text{см}^2}$ . Хотя микротрон позволял получать и боль-

шую интенсивность  $\gamma$ -излучения, она была ограничена /ток ускоренных электронов составлял  $\approx 1$  мкА/, чтобы избежать перегрузки измерительной аппаратуры во время импульса  $\gamma$ -квантов микротрона.

Спектры электронов конверсии измерялись с помощью поверхностно-барьерного детектора, изготовленного из высокоомного кремния р-типа<sup>/9/</sup>. Детектор имел площадь  $1 \text{ см}^2$ , толщину чувствительного слоя 0,5 мм и охлаждался до температуры жидкого азота. Импульсы с детектора через предусилитель, спектрометрический усилитель и линейные ворота поступали на 4096-канальный амплитудный анализатор, работающий в двумерном режиме. Его работа синхронна с импульсной работой нейтронного генератора или микротрона, поэтому можно было получать ряд амплитудных спектров в различные интервалы времени после выключения пучка нейтронов или  $\gamma$ -квантов.

Были облучены мишени из  $^{238}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{242}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  и  $^{243}\text{Am}$  пучком нейтронов с энергией 14,7 МэВ и  $\gamma$ -квантов с энергиями 9,0 и 15,0 МэВ. Мишени брались толщиной 0,5-1,0 мг/см<sup>2</sup> и площадью  $1 \text{ см}^2$ . Измеренные спектры электронов конверсии содержали большое число линий, распадающихся с различными периодами полураспада.

В таблице представлены характеристики спонтанно делящихся изомеров /период полураспада -  $T_{1/2}$  и энергия изомерного уровня -  $E_{is}$ /, получаемых при облучении указанных мишеней в реакциях  $(\gamma, \gamma)$ ,  $(\gamma, n)$ ,  $(n, n \gamma)$  и  $(n, 2n)$ , а также характеристики тех уровней /энергия -  $E_i$ , спин -  $I^{\pi}$  и вероятность заселения -  $P_i$ /, по которым определялось наличие ветви  $\gamma$ -излучения с изомерного уровня. Анализ спектров электронов конверсии проводился в тех интервалах энергии, где должны располагаться конверсионные линии, связанные с переходами с указанных уровней. Пример такого анализа показан на рис. 3, где виден участок спектра /в двух временных интервалах/, в котором должны находиться конверсионные линии, связанные с разрядкой уровня с энергией 285 кэВ

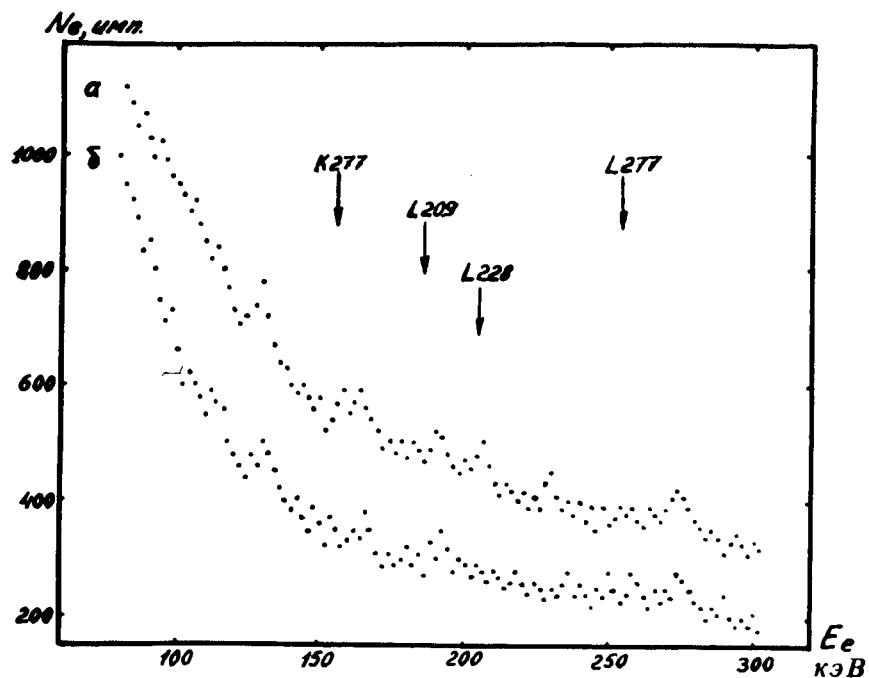


Рис. 3. Спектр электронов конверсии, испускаемых в реакции  $^{239}\text{Pu}(\gamma, \gamma')$ : а/ в интервале времени 0-5 мкс; б/ в интервале времени 25-30 мкс;  $N_e$  - число импульсов, вызываемых электронами в канале;  $E_e$  - энергия электронов.

в ядре  $^{239}\text{Pu}$ . Видно, что хотя в спектре и можно обнаружить линии с подходящей энергией и периодом полураспада /например,  $\gamma$ -линия с энергией 228 кэВ/, полная картина /расположение линий в спектре и соотношение их интенсивностей/ не соответствует тому, что должно быть при разрядке уровня 285 кэВ. Это означает, что в спектре конверсионных электронов не наблюдаются линии, связанные с разрядкой данного уровня, и полученные результаты позволяют получить лишь верхнюю границу интенсивности ветви  $\gamma$ -излучения с изомерного уровня  $^{239}\text{Pu}$ . Такой же анализ был проведен и для спонтанно делящихся изомеров  $^{241}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  и  $^{243}\text{Am}$  и везде получен отрицательный результат. В ядрах  $^{240}\text{Am}$  и  $^{242}\text{Am}$  схема нижних уровней неизвестна, и в этих

случаях анализ проводился в интервале энергии 150-400 кэВ. Не обнаружено конверсионных линий, расстояние между которыми соответствовало бы америцию, а интенсивность спадала бы с периодом полураспада спонтанно делящихся изомеров  $^{240}\text{Am}$  или  $^{242}\text{Am}$ .

Только при облучении мишени из  $^{238}\text{U}$  проведенный анализ позволил выделить две конверсионные линии с энергиями 25 и 40,5 кэВ, распадающихся с периодом полураспада  $\approx 0,3$  мкс. Из рис. 4 можно видеть, что в первых временных интервалах имеются две составные конверсионные линии /при энергиях 27,5 и 42 кэВ/, а в последующих интервалах остаются лишь конверсионные линии с энергиями 30 и 44 кэВ, которые возникают в результате  $\alpha$ -распада  $^{238}\text{U}$ . Указанные выше конверсионные линии с энергиями 25 и 40,5 кэВ соответствуют L- и M-линиям при разрядке уровня  $2^+$  с энергией 44,7 кэВ в ядре  $^{238}\text{U}$ , а изменение их интенсивности согласуется с периодом полураспада делящегося изомера  $^{238}\text{U}$ . Следовательно, данные конверсионные линии свидетельствуют о существовании ветви  $\gamma$ -излучения с изомерного уровня  $^{238}\text{U}$ .

Для того чтобы из измеренной на опыте интенсивности конверсионной линии /или ее верхней границы/ получить вероятность ветви  $\gamma$ -излучения с изомерного уровня, нужно знать коэффициент конверсии, вероятность заселения данного уровня при распаде изомера и число актов деления ядра в изомерном состоянии. У ядер с известной схемой нижних уровней коэффициенты конверсии исследуемых переходов известны. В случае нечетно-нечетных ядер  $^{240}\text{Am}$  и  $^{242}\text{Am}$ , имеющих большую плотность уровней, предполагалось, что в исследуемом диапазоне энергий /150-400 кэВ/ находятся переходы с коэффициентами конверсии более 1.

Вероятность заселения исследуемого уровня при распаде спонтанно делящегося изомера неизвестна. Грубой оценкой этой вероятности может служить отношение:

$$P_I \approx \frac{2I_i + 1}{\sum_{i=0} (2I_i + 1)}$$

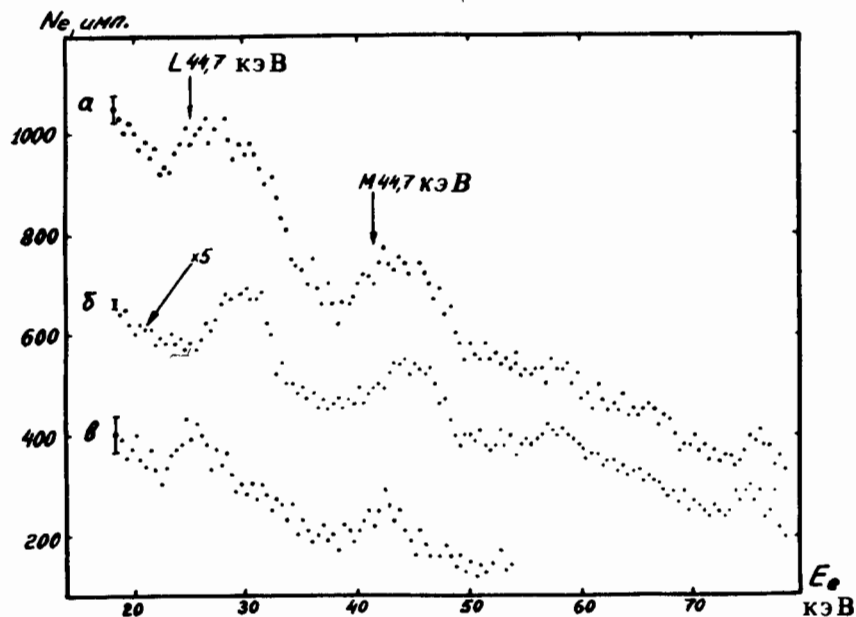


Рис. 4. Спектр электронов конверсии, испускаемых в реакции  $^{238}\text{U}(\gamma, \gamma')$ : а/ в интервале времени 0-0,5 мкс; б/ в интервале времени 4-8 мкс; в/ разность спектров, пронормированных по одному интервалу времени.

где  $I_f$  - спин исследуемого уровня,  $I_i$  - спины всех ниже лежащих уровней /учитывались только начальные уровни ротационных полос/.

Число осколков деления ядра из изомерного состояния определялось из измеренного на опыте числа осколков мгновенного деления и известного отношения  $\sigma_i / \sigma_f$  /эти отношения для реакций с нейтронами и  $\gamma$ -квантами приведены в работах /5,6/ /. Число осколков мгновенного деления измерялось с помощью диэлектрического детектора /слюда-мусковита/, помещаемого в непосредственной близости от мишени. После облучения слюда протравливалась в плавиковой кислоте и под микроскопом просчитывалось число треков, оставляемых осколками.

Определенные таким способом отношения интенсивностей  $\gamma$ -излучения и спонтанного деления /или их верхние

Таблица  
Характеристики изомерных уровней, исследуемых уровней и интенсивности ветви  $\gamma$ -излучения с изомерного уровня.

Ядро	Изомерный уровень		Исследуемый уровень			$\frac{W_\gamma}{W_f}$
	$T_{1/2}$ с	$E_{is}$ кэВ	$E_I$ кэВ	$I^\pi$	$P_I$	
$^{238}\text{U}$	$3 \cdot 10^{-7}$	2200	44,7	$2^+$	0,8	10
$^{239}\text{Pu}$	$8,5 \cdot 10^{-6}$	2400	285	$5/2^+$	0,75	<3
$^{241}\text{Pu}$	$2,7 \cdot 10^{-5}$	2500	161 169	$1/2^+$ $7/2$	0,75	<1
$^{240}\text{Am}$	$9 \cdot 10^{-4}$	2700	150-400	0-3	0,3	<1
$^{241}\text{Am}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	2200	472	$3/2^-$	0,25	<3
$^{242}\text{Am}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	2400	200-400	0-7	0,3	<5
$^{243}\text{Am}$	$6,5 \cdot 10^{-6}$	2200	267	$3/2^-$	0,25	<10

границы/ с изомерных уровней  $/W_\gamma/W_f/$  представлены в таблице. Видно, что для изомера  $^{238}\text{U}$  основным видом распада является  $\gamma$ -излучение, а для изомеров  $^{241}\text{Pu}$  и  $^{240}\text{Am}$  - спонтанное деление. Для остальных изомеров чувствительность измерений недостаточна, чтобы судить о наиболее вероятном способе распада. Отношение интенсивностей  $\gamma$ -излучения и спонтанного деления для изомера  $^{238}\text{U}$ , полученное в данной работе (10), заметно меньше, чем в работе /4/ /20/. Однако причиной этого расхождения может быть большая ошибка измерений и неопределенность описанной выше обработки опытных данных. Возможно также, что наиболее интенсивная  $\gamma$ -линия /2514 кэВ/, обнаруженная в работе /4/, не относится к распаду изомерного уровня, т.к. недавние измерения порога реакции  $^{238}\text{U}(n, n')^{238m}\text{U}$  привели к величине  $2,1 \pm 0,2 \text{ МэВ}^{/8/}$ .

Представляет интерес оценить запрет для переходов с изомерного уровня на уровни в первой потенциальной яме. Этот запрет целиком обусловлен большой разницей деформаций ядра в изомерном и основном состояниях. Оказывается, что в случае E2-переходов запрет составляет  $10^6$  для ядра  $^{238}\text{U}$  и превышает  $10^{10}$  для ядра  $^{240}\text{Am}$ .

В заключение авторы выражают благодарность Г.Н.Флерову за постоянный интерес к работе, Б.Н.Маркову и Ю.М.Ципенюку - за полезные обсуждения, В.Ф.Кушнируку и Ю.П.Харитонову - за изготовление детекторов электронов.

### Литература

1. V.M.Strutinsky. *Nucl. Phys.*, A95, 420 (1967).
2. J.Kantele. *Private Communication, Copenhagen*, 1967.
3. J.Borggreen, J.Hattula, E.Kashy, V.Maarbjerg. *Nucl. Phys.*, A218, 621 (1974).
4. P.A.Russo, J.Pedersen, R.Vandenbosch. *Nucl. Phys.*, A240, 13 (1975).
5. Yu.P.Gangrsky, B.N.Markov, Yu.M.Tsybenjuk. *Fortsch. der Physik*, 22, 109 (1974).
6. A.G.Belov, Yu.P.Gangrsky, B.Dalkhsuren, A.M.Kucher, T.Nagy, D.M.Nadkarni. *Preprint JINR, E15-6807, 197 (Dubna)*.
7. K.Katajima, R.Beringer. *Rev. Sci. Instr.*, 41, 632 (1970).
8. K.L.Wolf, J.M.Meadows. *Bull. Am. Phys. Soc.*, 19, 595 (1974).
9. В.Ф.Кушнирук, Р.А.Никитина, Ю.П.Харитонов. *ФТП*, 7, 1396 /1973/.

Рукопись поступила в издательский отдел  
19 декабря 1975 года.