

0147

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАКА

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



P15 - 6147

Ю.П.Гангрский, Б.Далхсурен, Б.Н.Марков, Т.Надь,
А.Лайтаи, И.Виннаи, Л.Йеки, Г.Клуге

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ ГАММА-ЛУЧЕЙ,
ПРИВОДЯЩИХ К ОБРАЗОВАНИЮ СПОНТАННО
ДЕЛЯЩЕГОСЯ ИЗОМЕРА ^{236}U

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

1971

P15 - 6147

Ю.П.Гангрский, Б.Далхсурен, Б.Н.Марков, Т.Надь,
А.Лайтай*, И.Виннай*, Л.Йеки*, Г.Клуге*

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ ГАММА-ЛУЧЕЙ,
ПРИВОДЯЩИХ К ОБРАЗОВАНИЮ СПОНТАННО
ДЕЛЯЩЕГОСЯ ИЗОМЕРА ^{236}U

**Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ**

*Центральный институт физических исследований (г.Будапешт)

Гангрский Ю.П., Далхсурен Б., Марков Б.Н., Надь Т., Р15-6147
Лайтай А., Виннаи И., Йеки Л., Клуге Г.

Исследование спектров гамма-лучей, приводящих к образованию спонтанно делящегося изомера ^{236}U

В реакции радиационного захвата тепловых нейтронов ядрами ^{235}U изучались энергетические спектры γ -квантов, связанных с заселением изомерного уровня в ядре ^{236}U , распадающегося затем с $T_{1/2} \approx 100$ нсек путем деления. В работе использовался метод запаздывающих совпадений гамма-лучей с осколками деления.

Источником нейтронов служил реактор ЦИФИ (Будапешт). Регистрация γ -излучения проводилась германиево-литиевым детектором, осколки деления фиксировались газовым сцинтилляционным счетчиком.

Сообщения Объединенного института ядерных исследований
Дубна, 1971

Gangrsky Yu.P., Dalhsuren B., Markov B.N., P15-6147
Nagy T., Lajtai A., Vinnai I., Jeki L., Kluge G.

Study of the γ -Ray Spectra Leading to the Production of the Spontaneously Fissioning Isomers ^{236}U

In the reactions of radiative capture of thermal neutrons by ^{235}U nuclei, energy spectra of γ -quanta were studied which are connected with spontaneously fissioning isomeric level population in ^{236}U nucleus. The latter decays with $T_{1/2} \approx 100$ ns. The method of delayed coincidences of γ -rays with fission fragments was used in this work.

The reactor (CIPhI, Budapest) served as a neutron source. γ -radiation was detected by means of Ge(Li) detector, the fission fragments were recorded with the gas-scintillation counter.

Communications of the Joint Institute for Nuclear Research.
Dubna, 1971

Возбуждение в ядрах изомерных состояний, распадающихся путем спонтанного деления, - распространенное явление в области тяжелых элементов. Известно уже около 30 спонтанно делящихся изомеров от урана до берклия с временами жизни в интервале 10^{-9} - 10^{-2} сек.

Исследование свойств спонтанно делящихся изомеров проводится, главным образом, с помощью различных ядерных реакций, приводящих ядра в изомерное состояние. Выбор такого метода исследований объясняется тем, что единственным обнаруженным видом распада делящихся изомеров остается спонтанное деление. Попытки найти другие ветви распада (γ -лучи, электроны конверсии или α -частицы) оказывались до сих пор безрезультатными /1-3/.

Изучение ядерных реакций позволило установить ряд характеристик изомеров, а также понять механизм заселения изомерного уровня /4-8/. Были получены значения периодов полураспада ядер-изомеров, их зависимость от массового числа A или параметра Z^2/A . Сравнение порогов реакций, ведущих к образованию ядер в изомерном и основном состояниях, дало возможность оценить энергии возбуждения изомерного уровня. Расчеты давали значения, близкие к 3 Мэв /9-11/.

Как показали эксперименты, вероятность возбуждения изомерного состояния не зависела от вносимого в ядро углового момента, и это указывало на малую величину спина изомерного уровня /12/.

Из ядерных реакций получены также значения изомерных отношений $\frac{\sigma_i}{\sigma_g}$ (т.е. отношения сечений образования ядер в изомерном и основном состояниях) и отношений $\frac{\sigma_i}{\sigma_f}$, где σ_f - сечение мгновенного деления. Эти характеристики реакций указывали на прямую связь механизма образования изомерного состояния со структурой барьера и самим процессом деления /13-15/.

Вся совокупность свойств спонтанно делящихся изомеров показывала, что причина изомерии связана с изменением равновесной формы ядра ("изомерия формы"). Предложенная В.М. Струтинским модель двугорбого барьера деления /16/ качественно объяснила многие особенности делящихся изомеров.

Двугорбая форма барьера привела к существованию двух независимых систем уровней (рис. 1). Согласно модели, изомерное состояние связывается с нижним уровнем во второй потенциальной яме. Внутренний барьер, разделяющий оба класса состояний, препятствует радиационным переходам из одной ямы в другую. Второй, внешний барьер определяет время жизни изомерного состояния относительно спонтанного деления.

Совместное использование метода ядерных реакций и модели двугорбого барьера принесло большие успехи в изучение и понимание свойств спонтанно делящихся изомеров. Однако для более глубокого понимания природы этого явления и дальнейшего развития теории важно исследовать систему уровней, построенную на изомерном состоянии, и точно определить параметры этого состояния, т.е. его энергию возбуждения, спин, четность.

Исследование спонтанного деления не дает прямого ответа на такие вопросы. Оно приводит лишь к косвенным и довольно неопределенным значениям отдельных характеристик ядер. Так, например, при определении порога образования изомерного состояния /6,11,17/ анализируется ход функции возбуждения реакции $\sigma_i(E)$.

Здесь закладываются модельные представления о плотности уровней $\rho(E)$, величине ядерной температуры T в зависимости от деформации ядра. Как показано в работах /17,18/, различный подбор этих параметров приводит к существенной неопределенности значения энергии изомерного уровня, достигающей ~ 1 Мэв.

Обычно сведения об изомерных уровнях получают при анализе гамма-лучей или электронов конверсии, испускаемых при распаде возбужденных состояний. Отсутствие таких частиц в случае делящихся изомеров закрывает этот путь исследования.

Однако имеется другой путь - исследование энергетических спектров и угловых распределений γ -квантов и e^- -конверсии, непосредственно связанных с заселением изомерного состояния.

На последней стадии любой ядерной реакции каскад γ -лучей должен предшествовать образованию спонтанно делящегося изомера. Осколки при распаде изомера будут задержаны относительно радиационных переходов, и величина запаздывания равна времени жизни изомерного уровня. Метод состоит в наблюдении запаздывающих совпадений спонтанного деления и соответствующего ему γ -излучения.

Такая методика впервые была успешно применена в работе /3/. Авторы /3/ получили временной спектр совпадений электронов конверсии с осколками деления изомера ^{236}U ($T_{1/2} \approx 100$ нсек /19/). Здесь следует отметить, что измерения временных спектров сопряжены с большими экспериментальными трудностями из-за наличия большого фона случайных совпадений. Искомый эффект задержанных совпадений приходится искать на "хвосте" громадного пика от мгновенного деления, сечение которого превышает в 10^4 раз сечение образования изомера /3/.

В настоящей работе изучались энергетические спектры γ -квантов при совпадении с запаздывающими осколками деления в реакции радиационного захвата тепловых нейтронов ядрами ^{235}U с образованием спонтанно делящегося изомера ^{236}U (рис. 1). Эксперименты проводились в Центральном институте физических исследований (Будапешт). Источником тепловых нейтронов служил реактор ЦИФИ. Мишень ^{235}U была изготовлена на алюминиевой подложке, толщина слоя ^{235}U составляла 2 мг/см^2 .

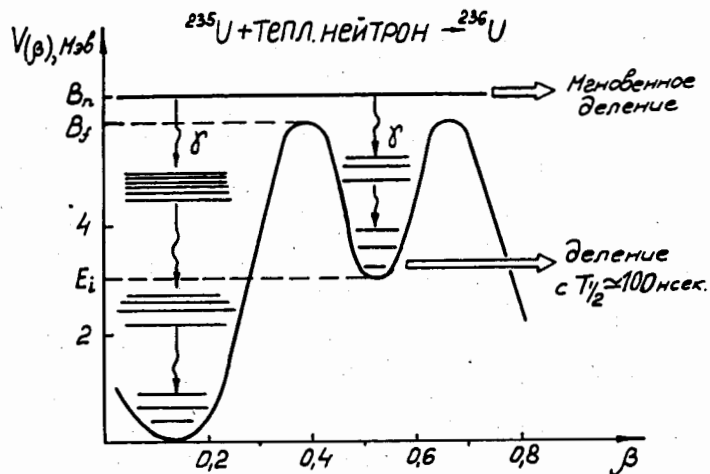


Рис. 1. Зависимость потенциальной энергии $V(\beta)$ от деформации ядра (двугорбый барьер деления). V_n - энергия связи нейтрона в ^{236}U , V_f - барьер деления, E_i - энергия изомерного уровня.

Детектором осколков деления являлся газовый сцинтилляционный счетчик, наполненный смесью чистых газов 80% Ar + 20% N_2 при давлении 1 атм. Световые вспышки от осколков попадали на фотокатод ФЭУ (марки 58 UVP), который был снаружи покрыт специальным кварцевым стеклом для увеличения выхода фотоэлектронов. Эффективность регистрации осколков составляла 30%.

В качестве счетчика γ -излучения был использован Ge(Li) -детектор, объемом 4 см^3 , окруженный толстым слоем Pb . Счетчик находился на расстоянии $\approx 1,5$ см от урановой мишени. Эффективность регистрации относительно фотопика (при $E_\gamma = 450$ кэВ) оценивалась в 0,2%.

Аппаратура устанавливалась на канале реактора, снабженном механическим селектором (ротором), который выделял тепловую область энергии нейтронов и служил защитой от мощного потока γ -лучей, выходящих из активной зоны. Диаметр пучка нейтронов равнялся приблизительно 1 см, интенсивность частиц - около 10^7 н/сек.см².

Импульсы с обоих детекторов подавались на электронную схему быстро-медленных совпадений (рис. 2).

Отбор событий по времени производился с помощью быстрой схемы совпадений, построенной на время-амплитудном преобразователе. Конвертор работал по принципу "старт" - "стоп". Импульсы, идущие от германиево-литиевого счетчика, запускали схему, импульсы от осколков деления, проходящие через калибровочную линию задержки, останавливали ее. Максимальное время, отсчитываемое от начала запуска до момента остановки устройства, составляло 100 нсек. Измеряемый интервал времени между приходом гамма-кванта и осколком деления конвертор преобразовывал в сигнал, пропорциональный данному временному отрезку. Далее этот сигнал поступал на вход дифференциального дискриминатора.

Изменяя порог дискриминатора, можно было во временном спектре совпадений (рис. 3) выбирать различные участки по времени (шириной до 100 нсек) для последующего амплитудного анализа импульсов, приходящих за этот промежуток t . Дополнительное изменение τ задержки импульсов относительно друг друга давало возможность получать

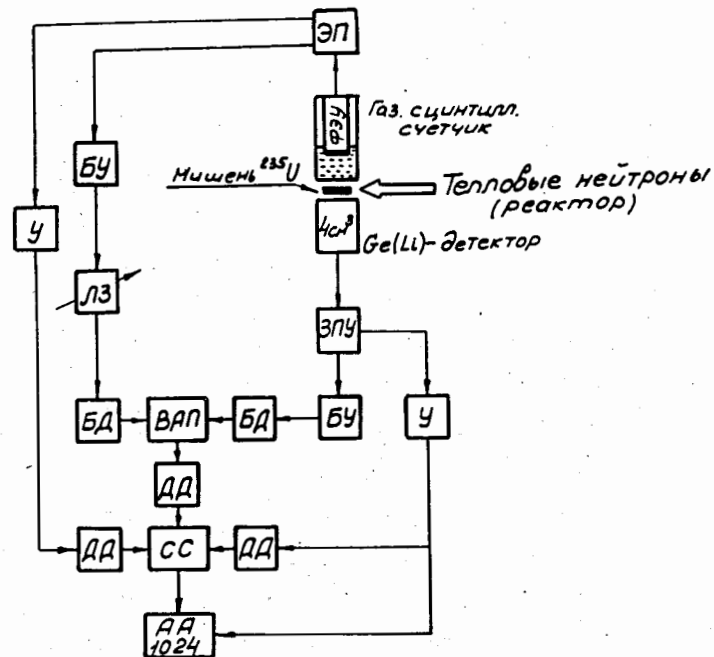


Рис. 2. Блок-схема эксперимента. ЭП - эмиттерный повторитель, У - спектрометрический усилитель, БУ - быстрый усилитель, ЗПУ - зарядочувствительный предусилитель, ЛЗ - калибровочная линия задержки, БД - быстрый дискриминатор, ВАП - время-амплитудный преобразователь (конвертор), ДД - дифференциальный дискриминатор, СС - схема тройных совпадений и АА - амплитудный анализатор.

энергетические спектры γ -лучей, совпадающих с осколками как мгновенного, так и спонтанного деления в широком диапазоне времени.

Следует отметить, что существование в осколках мгновенного деления большого числа изомерных состояний, распадающихся путем γ -излучения, не может исказить результатов измерений. В этом случае γ -кванты будут задержаны по отношению к осколкам, и зарегистрированные акты запаздывающих совпадений от них расположатся по другую сторону от пика мгновенных совпадений (по сравнению с делящимися изомерами, когда γ -кванты появляются раньше, чем осколки спонтанного деления).

Отбор событий по амплитуде в заданном интервале времени, как видно из рис. 2, происходил через медленную схему совпадений. Сигнал, получаемый от тройных актов совпадений (γ - f -время), запускал амплитудный 1024-канальный анализатор, который производил запись энергетического спектра гамма-квантов.

На результатах измерений в сильной степени отражается выбор общей загрузки обоих счетчиков. Интенсивность потока частиц выбирается так, чтобы, с одной стороны, был замечен выход спонтанно делящегося изомера, а с другой - этот эффект не был подавлен большим фоном от случайных совпадений. В нашем случае загрузка детекторов по осколкам и γ -лучам была примерно одинаковой: 3000-4000 имп/сек. При этом число регистрируемых запаздывающих совпадений (случайных и истинных) было на уровне 1-2 импульса за 10 сек.

На рис. 4 представлены полученные спектры γ -квантов в выбранном интервале энергий от 0,40 до 1,0 Мэв (измерения проводились в диапазоне 0,08 - 1,5 Мэв).

В нашу задачу не входила идентификация всех γ -переходов, наблюдаемых в каждом спектре. Цель эксперимента - выделить отдельные линии, которые прямо связаны с образованием спонтанно делящегося изомера.

Анализ данных спектров показал, что при задержке регистрации осколков деления относительно гамма-квантов в 100 нсек в спектре совпадений (спектр 2) имеются пики (отмеченные на рис. 4 стрелками),

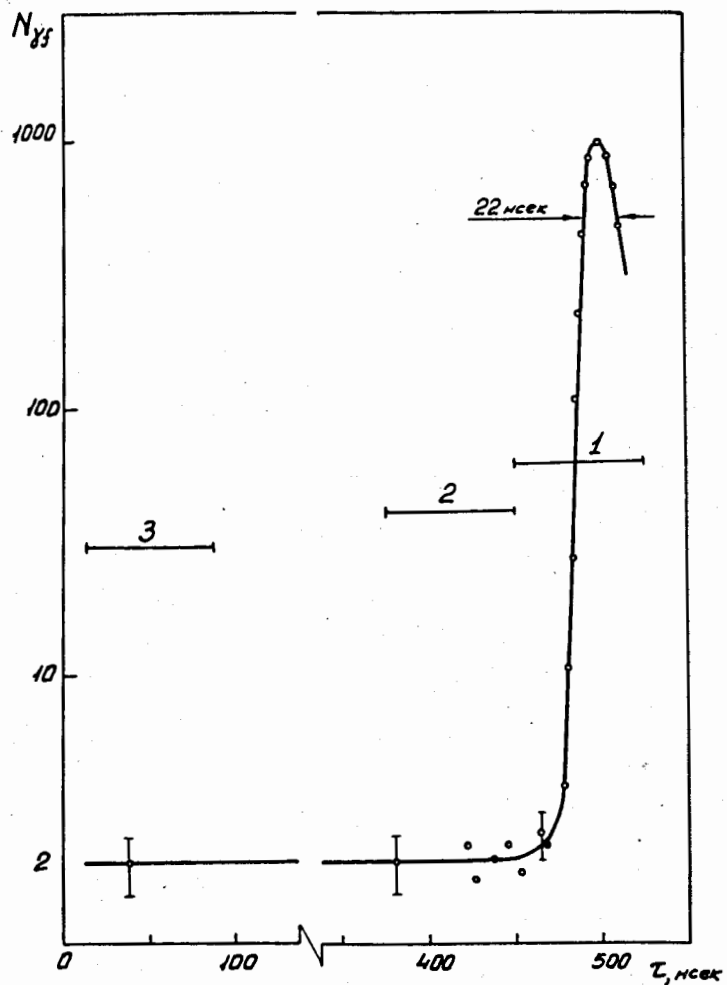


Рис. 3. Временной спектр γ - f совпадений из реакции тепловых нейтронов с ^{235}U . По оси ординат число $N_{\gamma f}$ совпадений отложено в относительных единицах. На половине пика мгновенных совпадений приведена величина аппаратного временного разрешения. Отрезками 1, 2 и 3 показаны интервалы времени, в пределах которых производился амплитудный анализ γ -лучей. τ - время задержки между регистрацией γ -кванта и осколка деления.

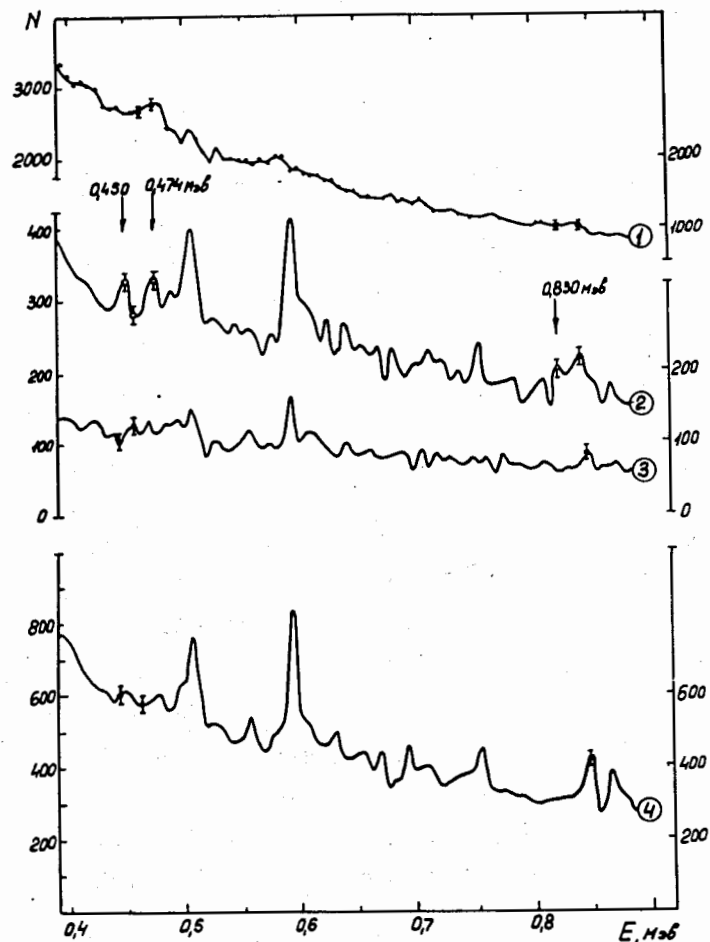


Рис. 4. Энергетические спектры γ -квантов из реакции тепловых нейтронов с ^{235}U . 1 - при совпадении γ -лучей с мгновенными осколками. Полное число зарегистрированных осколков $N_f = 2,1 \cdot 10^7$. 2, 3 - при совпадении γ -лучей с запаздывающими осколками; 2 - время задержки $\tau \approx 100$ нсек, $N_f = 4,9 \cdot 10^8$; 3 - $\tau \approx 450$ нсек, $N_f = 1,7 \cdot 10^8$; 4 - спектр γ -лучей без совпадения с осколками.

которые, по-видимому, можно отнести к γ -переходам в ядре ^{236}U , непосредственно заселяющим изомерный уровень.

Проведенные измерения наглядно демонстрируют возможности подобного рода экспериментов. Исходя из интенсивности отдельной линии в спектре γ -лучей и общего числа осколков, зарегистрированных за время опыта, можно оценить выход изомера относительно мгновенного деления. Если во временном спектре совпадений отношение числа запаздывающих совпадений к мгновенным, как видно из рис. 3, составляло $\sim 6 \cdot 10^{-3}$, то выделение отдельных линий в энергетическом спектре сводит это отношение до $6 \cdot 10^{-5}$ (на примере линии 450 кэВ, рис. 4) и более низкого значения. При таком соотношении "эффекта" к "фону" уже можно проводить спектроскопические исследования делящихся изомеров.

Таким образом, измерения энергетических спектров γ - f , а также e^- - f совпадений позволяют получать спектры радиационных переходов, приводящих к возбуждению спонтанно делящихся изомерных уровней. Характеристики таких переходов будут зависеть на определенной стадии от спина и четности изомерного состояния. Из общего баланса энергии, уносимой γ -квантами и электронами конверсии, можно определить энергию этого состояния. Построенная на нем схема уровней будет существенно отражать природу спонтанно делящихся изомеров.

В заключение авторы выражают большую благодарность академику Г.Н. Флерову за постоянный интерес к работе и поддержку. Авторы благодарят коллектив эксплуатации реактора ЦИФИ за совместное проведение экспериментов, а также Л. Вашарош за помощь при обработке результатов измерений.

Часть авторов искренне признательна дирекции Центрального института физических исследований за оказанное гостеприимство.

Литература

1. R.V. Leachman, B.N. Erkila. Bull. Am. Phys. Soc., 10, 1204 (1965).
2. H.F. Brickman. Experimental Meeting of the Niels Bohr Institute, Copenhagen (1970).

3. А.Г. Белов, Ю.П. Гангрский, Б. Далхсурен, А.М. Кучер. ЯФ, 14, 685 (1971).
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-Акопян, В.А. Фомичев. ЖЭТФ, 42, 1464 (1962).
5. S.M. Polikanov, G. Sletten. Nucl. Phys., A151, 656 (1970).
6. S.C. Burnett, H.C. Britt, B.N. Erkkila, W.E. Stein. Phys. Lett., 31B, 523 (1970).
7. V. Metag, R. Repnow, P. von Brentano. Nucl. Phys., A165, 289 (1971).
8. Ю.П. Гангрский, Б.Н. Марков, И.Ф. Харисов, Ю.М. Ципенюк. Письма в ЖЭТФ, 14, 370 (1971).
9. G.N. Flerov, A.A. Pleve, S.M. Polikanov, S.P. Tretiakova, N. Martalogu, D. Poenaru, M. Sezon, I. Vilkov, N. Vilkov. Nucl. Phys., A97, 444 (1967).
10. S. Bjørnholm, J. Borggreen, L. Westgaard, W.A. Karnaukhov. Nucl. Phys., A95, 513 (1967).
11. Yu. P. Gangrsky, B.N. Markov, Yu. M. Tsipenyuk. Phys. Lett., 32B, 182 (1970).
12. Г.Н. Флеров, Ю.П. Гангрский, Б.Н. Марков, А.А. Плева, С.М. Поликанов, Х. Юнгклауссен. ЯФ, 9, 17 (1967).
13. G.N. Flerov, A.A. Pleve, S.M. Polikanov, S.P. Tretiakova, I. Vosca, M. Sezon, I. Vilkov, N. Vilkov. Nucl. Phys., A102, 443 (1967).
14. Ю.П. Гангрский, К.А. Гаврилов, Б.Н. Марков, Нгуен Конг Кхань, С.М. Поликанов. ЯФ, 7, 65 (1969).
15. B. Dalhsuren, G.N. Flerov, Yu. P. Gangrsky, Yu. A. Lasarev, B.N. Markov, Nguyen Cong Khanh. Nucl. Phys., A148, 492 (1970).
16. V.M. Strutinsky. Nucl. Phys., A95, 420 (1967).
17. Ю.П. Гангрский, Б.Н. Марков, И.Ф. Харисов, Ю.М. Ципенюк. Препринт ОИЯИ, P15-6145, Дубна, 1971.
18. S. Jäger. Phys. Lett., 32B, 571 (1970).
19. N. Lark, G. Sletten, J. Pedersen, S. Bjørnholm. Nucl. Phys., A139, 481 (1969).

Рукопись поступила в издательский отдел
30 ноября 1971 года.