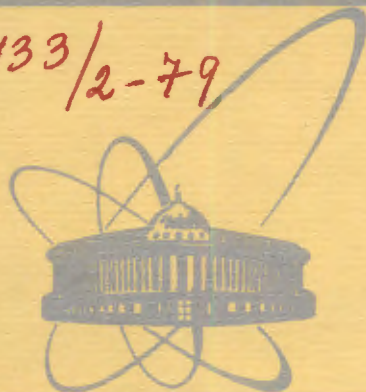


3133/2-79



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

СЗ44.1а
0-361

13/8-79

P15 - 12370

Ю.Ц.Оганесян, Д.Д.Богданов, В.М.Васько, В.Зайдель,
Г.И.Коваль, Г.С.Попеко, В.Г.Субботин,
Г.М.Тер-Акопьян

УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
КИНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ОСКОЛКОВ ДЕЛЕНИЯ НА ПУЧКЕ α -ЧАСТИЦ

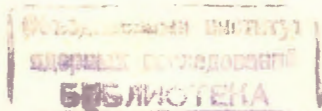
1979

P15 - 12370

Ю.Ц.Оганесян, Д.Д.Богданов, В.М.Васько, В.Зайдель*,
Г.И.Коваль, Г.С.Попеко, В.Г.Субботин,
Г.М.Тер-Акопьян

УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
КИНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ОСКОЛКОВ ДЕЛЕНИЯ НА ПУЧКЕ α -ЧАСТИЦ

* ЦИЯИ, Россендорф, ГДР



Установка для измерения кинетических характеристик осколков деления на пучке α -частиц

Описывается конструкция и электронное обеспечение установки для измерения полной кинетической энергии осколков редких событий вынужденного деления ядер заряженными частицами. В качестве детекторов осколков деления применяются ионизационные камеры с плоскопараллельными электродами. Камеры работают в режиме компенсации длиннопробежных фоновых частиц. Установка была испытана на пучке α -частиц. Эффективность регистрации совпадающих осколков составляет 13,5%. Установка позволяет работать с пучками α -частиц интенсивностью 0,2 мкА. При таких токах полуширина спектра полной кинетической энергии осколков деления ^{238}U α -частицами равняется 35 МэВ. Такая установка может успешно использоваться для поисков сверхтяжелых элементов с абсолютным содержанием $\geq 2 \cdot 10^7$ атомов. При этом относительная чувствительность методики составляет $\sim 10^{-10}$ атом/атом.

В работе обсуждаются причины, ограничивающие дальнейшее повышение чувствительности.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Arrangement to Measure Kinematic Energy of Fission Fragments on α -Particle Beam

The design and electronic equipment of an arrangement to measure the total kinetic energy of rare event fragments of induced fission of nuclei by charged particles are described. Ionization chambers with plane-parallel electrodes are used as fission fragment detectors. The chambers operate in the mode of compensation of long-range background particles. The arrangement was used on an α -particle beam. The detection efficiency for coincident fragments is 13.5%. The arrangement allows one to work with α -particle beams with an intensity of 0.2 μA . At such currents the half-width of the TKE spectrum for the ^{238}U fission fragments by α -particles is 35 MeV, absolute content is $2 \cdot 10^7$ atoms, the relative sensitivity being about 10^{-10} atom/atom. Factors limiting the arrangement sensitivity are described.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

Задача поисков и идентификации сверхтяжелых элементов /СТЭ/ в природных образцах требует расширения проводимых исследований, использования новых подходов и методов. Это связано с тем, что ядерно-физические характеристики СТЭ предсказываются теорией с недостаточной определенностью, а прямые методы идентификации /измерение A или Z / пока, как правило, не могут обеспечить необходимый уровень абсолютной и относительной чувствительности.

На наш взгляд, одним из перспективных направлений для поиска и идентификации СТЭ является измерение энергетического распределения осколков вынужденного деления ^{1/}. Во-первых, высокая делимость СТЭ при энергиях возбуждения, превышающих $15 \div 20$ МэВ, должна приводить к сечению вынужденного деления порядка 10^{-24} см²; во-вторых, ожидаемые значения средней полной кинетической энергии осколков деления СТЭ $/E_0 \geq 230$ МэВ/ на $40 \div 60$ МэВ превышают соответствующие величины для деления U или Th ^{2/}. Большая величина сечения деления СТЭ, хорошее отделение их по E_0 позволяют рассчитывать на получение высокой абсолютной чувствительности методики при умеренных требованиях к энергетическому и временному разрешению.

Для исследования возможностей такого метода и для проведения экспериментов нами разработана установка, которая была испытана на пучке α -частиц циклотрона У-200.

КОНСТРУКЦИЯ УСТАНОВКИ И ЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Установка смонтирована на раме с юстировочными винтами и включает в себя систему коллимации и регистрации пучка, реакционную камеру, систему замены мишеней, две ионизационные камеры для регистрации осколков деления. Соединение установки с ионопроводом осуществляется через стыковочный узел из гибкого элемента /сильфон/ и элемента уплотнения входного патрубка на армированных манжетах. Такая конструкция стыковочного узла позволяет проводить точную юстировку установки и ее вращение вокруг продольной оси без нарушения вакуума.

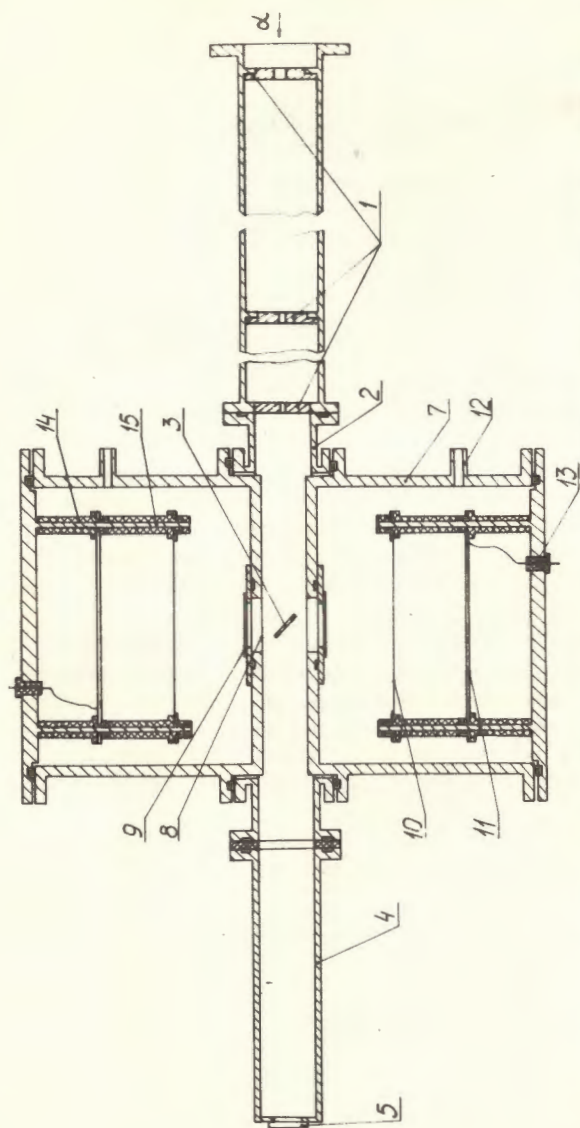


Рис. 1. Схема установки для измерения кинетических характеристик осколков деления на пучке α -частиц.

Система коллиматоров размещена во входном патрубке и состоит из трех графитовых дисков /1/ с диаметрами отверстий 7, 4 и 4 мм, расположенных на расстояниях 680, 280 и 200 мм от мишени. Патрубок жестко связан с установкой и отъюстирован по ее продольной оси. При оптимальной настройке коэффициент прохождения пучка через такую систему коллимации составляет 20%.

После коллиматоров пучок попадает в реакционную камеру /2/. Камера имеет цилиндрическую форму с внутренним диаметром 280 мм и высотой 34 мм. В центре камеры расположена облучаемая мишень /3/. Угол наклона мишени к оси пучка составляет $\approx 45^\circ$. Мишень представляет из себя тонкую графитовую или никелевую подложку, приклеенную силикатным клеем к кольцевой танталовой оправке. Внутренний диаметр оправки - 15 мм. Обычные значения толщин подложек - /30 ÷ 60/ мкг/см² для углерода и ~ 70 мкг/см² для Ni. В ряде случаев на углеродные пленки дополнительно напылялся слой золота толщиной ~ 60 мкг/см². Исследуемое вещество наносилось на подложку методом выпаривания или термического осаждения. Диаметр рабочей части мишени - /6 ÷ 8/ мм, толщина не превышала 0,5 мкг/см². Площадь сечения пучка на мишени составляла $\approx 0,25$ см².

Рабочие и калибровочные мишени укреплены на двух штоках, которые можно перемещать без нарушения вакуума в направлении, перпендикулярном направлению пучка. Система вакуумного ввода каждого штока имеет шлюзовый объем, отсекаемый от объема реакционной камеры шибберным затвором. Шлюзы имеют независимые системы напуска и откачки, а также смотровые окна для визуального контроля за состоянием мишени.

Интенсивность и полное число α -частиц, прошедших через мишень, измерялись при помощи цилиндра Фарадея /4/. На его выходе установлено кварцевое окно /5/, позволяющее контролировать положение и форму пучка. При длительных облучениях окно закрывается графитовой шторкой.

В качестве детекторов осколков деления служат две идентичные ионизационные камеры с плоскопараллельными электродами. Использование ионизационных камер представляется в нашем случае более предпочтительным в связи с их высокой геометрической эффективностью, стабильностью характеристик в условиях длительных облучений и возможностью использования эффекта компенсации. Каждая камера представляет собой цилиндрический корпус из нержавеющей стали /7/ с внутренним диаметром 270 мм и высотой 200 мм, снабженный вентилями для откачки и наполнения рабочим газом /12/,

сигнальными и высоковольтными вводами /13/, манометрической системой. Высоковольтные электроды имеют форму дисков диаметром 240 мм. Компенсационный электрод /11/ изготовлен из полированной нержавеющей стали толщиной 1 мм, сигнальный /10/ - из алюминиевой фольги толщиной 6 мкм, зажатой между двумя кольцами из дюралюминия. Электроды закреплены между фторопластовыми кольцевыми изоляторами высотой 8 мм, междуэлектродные зазоры /60 ± 70 мм/ задаются металлическими трубчатыми проставками. Монтаж электродов камеры выполнен на кольцевом основании, которое затем болтами крепится к крышке камеры.

Для входных вакуумных окон /9/ использовалась майларовая пленка толщиной 2,5 мкм, закрытая со стороны камеры слоем сусального золота / ~ 250 мкг/см² /. Пленка приклеивалась клеем БФ-2 к латунной крышке с поддерживающей сеткой из 100-микронной вольфрамовой проволоки. При размерах окна 30x30 мм² и сеточной ячейки 2x2 мм² такая конструкция обеспечивала возможность работы с давлением рабочего газа до 1 атм. Средние потери энергии осколка во входном окне составляли 25 МэВ.

В качестве рабочего газа использовался метан при давлениях /0,5-0,7/ атм. Напряжение подавалось на электроды через независимые цепи развязки, рабочая напряженность электрического поля составляла ~150 В/см. Потенциал компенсационного электрода подбирался экспериментально по эффекту компенсации α -частиц ²⁴¹Am и приблизительно в два раза превышал потенциал собирающего электрода.

Сигналы с собирающих электродов камеры усиливались и формировались по длительности на разработанных в Лаборатории ядерных реакций предусилителях. Предусилители данного типа обладают повышенной помехоустойчивостью за счет введения в их схему вторичных источников питания и высокочастотных развязок. Коэффициент усиления равен 20, формировка по длительности осуществляется на RC-цепях с $\tau_g = \tau_n = 0,8$ мкс. Сигналы с предусилителей поступают по длинным кабелям к измерительной аппаратуре, где после дополнительного усиления подаются на входы аналого-цифровых преобразователей, работающих в двухмерном режиме /3/. После отбора по совпадениям с разрешающим временем 0,5 мкс двухмерный спектр осколков записывается в память анализатора TRIDAC. Результаты измерений выводятся на перфоленду и обрабатываются на ЭВМ "Минск-32". Линейность трактов проверялась с помощью генератора. Для энергетической калибровки использовались осколки деления ядер, получающихся в реакциях ²³⁸U + α / $\bar{E}_0 = 174$ МэВ/ и Au + α / $\bar{E}_0 = 140$ МэВ/.

Постановка задачи предусматривает регистрацию редких событий / ~ 3/10⁵ с/, и поэтому аппаратура должна быть нечувствительной к наводкам. Задача несколько облегчается большим энерговыделением осколков и использованием отбора по совпадениям. Проверка показала, что требуемые фоновые условия / ~ 3/10⁶ с/ можно обеспечить за счет хорошего качества монтажа электрических соединений, отбора высоковольтных источников питания. Из специальных мероприятий следует выделить использование циклотронного источника, конструкция которого исключает его переход в режим дугового разряда.

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ МЕТОДИКИ

При поисках СТЭ по вынужденному делению нижний предел измеримого содержания СТЭ в мишени определяется:

- 1/ поперечным сечением деления и эффективностью регистрации осколков;
- 2/ интенсивностью пучка бомбардирующих частиц и временем облучения;
- 3/ наводочным и физическим фоном.

Для α -частиц с энергией 36 МэВ расчетное сечение взаимодействия с ядрами 114-го элемента равняется $\approx 1 \cdot 10^{-24}$ см². Так как энергия возбуждения при этом намного превышает барьер деления, можно полагать, что на деление будет приходиться почти все сечение взаимодействия. Эффективность регистрации совпадающих осколков в нашем случае равна 13,5% и полностью определяется геометрическими факторами /телесный угол, охватываемый входными окнами, прозрачность поддерживающей сетки/.

Критерий энергетического отбора случаев деления СТЭ накладывает ограничение на допустимое энергетическое разрешение установки - оно не должно существенно ухудшать собственного распределения осколков деления по E_0 . На рис. 2 приведен спектр полной кинетической энергии осколков деления ²³⁸U α -частицами. Из рисунка видно, что полуширина измеренного распределения составляет ~35 МэВ. Так как собственная полуширина распределения E_0 равна 30 МэВ /4/, то для аппаратурного разрешения получаем значение ~20 МэВ. Аппаратурное разрешение определяется в основном двумя факторами: во-первых, разбросом потерь энергий осколков во входных окнах из-за различия углов входа; во-вторых, размытием спектра импульсами наложений.

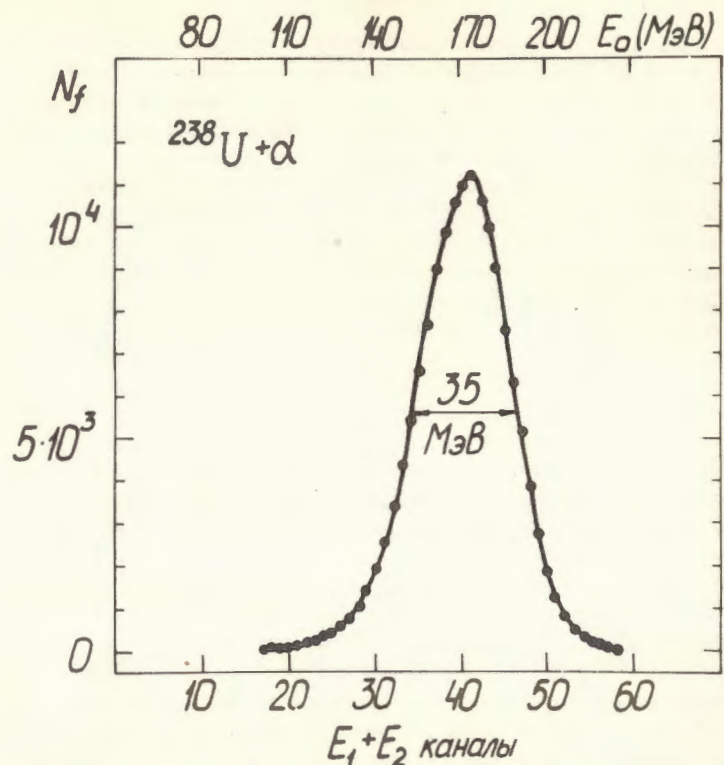


Рис.2. Спектр полной кинетической энергии осколков деления в реакции $^{238}\text{U} + \alpha$.

Остановимся подробнее на втором факторе. Регистрация осколков в нашем случае происходит на интенсивном фоне, связанном с взаимодействием пучка с веществом мишени и подложки, - это атомные электроны и фотоны, рассеянные α -частицы, ядерные γ -кванты, протоны и т.д. Энерговыделение отдельной фоновой частицы в рабочем объеме камеры мало по сравнению с энерговыделением осколка. Однако интенсивность фоновых частиц столь велика, что спектр наложений имеет характер "шумовой дорожки" и его можно характеризовать некоторой среднеквадратичной шириной σ^2 , которая пропорциональна произведению тока на толщину мишени. Это приводит, с одной стороны, к размытию моноэнергетической линии /например, генераторной/, с другой стороны /при чрезмерно большом токе/ - к появлению фоновых импуль-

сов с большими E_0 . Поэтому величину допустимого тока приходится ограничивать. Это накладывает ограничение на достигаемую чувствительность. Использование ионизационных камер с компенсацией позволило повысить предельный ток в /3-5/ раз за счет подавления вклада в наложение от длиннопробежной компоненты фона и работать с пучками α -частиц интенсивностью $\sim 0,2$ мкА. Для каждой мишени режим облучения подбирался экспериментально исходя из условия, чтобы полуширина генераторной линии не превышала 15 МэВ.

Наряду с наложениями источником фона при поисках СТЭ может служить деление примесных атомов U и Th. Представление об этом дает рис. 3, где приведен интегральный спектр E_0 , измеренный для рабочей мишени, обогащенной ураном. При подобранном рабочем токе /0,15 мкА/ в область с $E_0 > 220$ МэВ попадает 0,1% всех импульсов, связанных с делением U. Из этого следует, что для достижения чувствительности по СТЭ $\sim 10^8$ атомов необходимо, чтобы содержание урана в мишени было меньше 10^{11} атомов. Для мишеней, изготовленных методом термохимического разделения, это требование легко выполняется и содержание U не превышает /3-6/ $\cdot 10^9$ ат/см². Присутствие в мишени других делящихся элементов неопасно, т.к. для элементов с $Z < 90$ сечение деления и \bar{E}_0 гораздо меньше, чем для урана, а присутствие в таких количествах техногенных трансурановых элементов нереально и легко контролируемо.

Многосуточные эксперименты, проведенные на пучке α -частиц циклотрона У-200 с модельными и рабочими мишенями, показали, что установка может успешно использоваться для поисков СТЭ. За 30-часовую экспозицию достигается уровень абсолютной чувствительности нашей методики $\sim 10^8$ атомов, что приблизительно на порядок выше, чем у лучших из использовавшихся ранее методов /5,6/. При необходимости чувствительность может быть повышена в /3-5/ раз простым увеличением времени облучения. Относительная чувствительность / $\sim 10^{-10}$ ат/ат / также достаточно высока.

Для иллюстрации характера получаемой информации на рис. 4 приведен двухмерный энергетический спектр осколков, измеренный на одной из рабочих мишеней. Максимум выхода осколков / $E_0 \approx 145$ МэВ / соответствует делению элементов группы Au-Pb, при $E_0 \approx 175$ МэВ видны импульсы, связанные с делением урана. Время облучения - 64 часа, полный поток α -частиц - $7,6 \cdot 10^{16}$. Уровень абсолютной чувствительности, достигнутый в данном случае, в области с $E_0 > 200$ МэВ составляет - $2 \cdot 10^7$ атомов для облучаемой части мишени и $4 \cdot 10^7$ атомов для всей мишени / $S_{\text{миш}} = 0,6$ см² /.

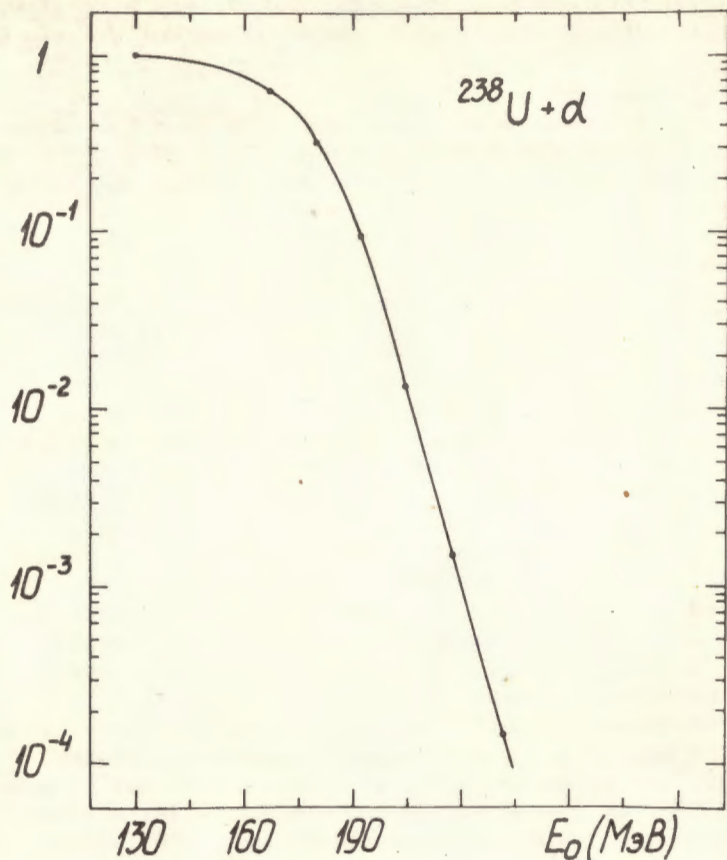


Рис.3. Интегральный спектр полной кинетической энергии осколков деления для реакции $^{238}\text{U} + \alpha$.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить академика Г.Н.Флерова за поддержку и большое внимание к работе. Авторы благодарны группе обслуживания циклотрона У-200 за обеспечение облучений.

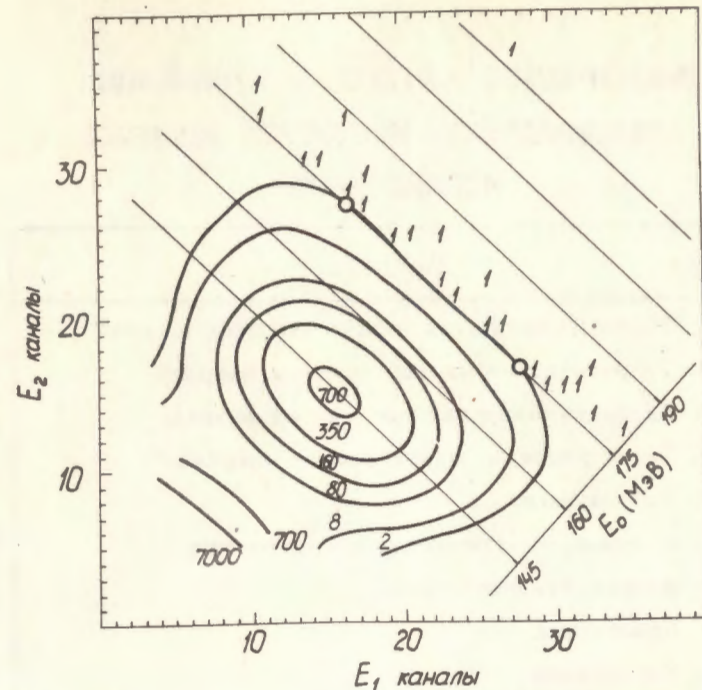


Рис.4. Двухмерный энергетический спектр осколков деления для мишени. Цифры у контурных линий - число отсчетов в канале, незачерненные кружочки - положение максимумов энергетического распределения при делении урана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Oganessian Yu.Ts. Heavy Ion Physics, Predeal Intern. Summerschool, 1978. Central Inst. of Physics, 1979.
2. Viola V.E. Nucl.Data, 1966, A1, p. 391.
3. Зодан Х. и др. ОИЯИ, P7-10671, Дубна, 1977.
4. Cuninghame I.G., Goodall I.A.B. Nucl.Phys., 1975, 2, p.2.
5. Stephan C. et al. J.de Phys., 1975, 36, p. 105.
6. Sparks C.I. et al. Phys.Rev.Lett., 1978, 40, p. 507.

Рукопись поступила в издательский отдел
9 апреля 1979 года.