

6-96-136

На правах рукописи
УДК 539.165

HO-319

ЮЛДАШЕВ
Мехмон Буриевич

НИЗКОСПИНОВЫЕ СОСТОЯНИЯ ЯДРА ^{147}Gd .
РАЗНОСТИ МАСС НУКЛИДОВ,
УДАЛЁННЫХ ОТ ПОЛОСЫ БЕТА-СТАБИЛЬНОСТИ

Специальность: 01.04.16 — физика атомного ядра
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1996

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем
Объединенный институт ядерных исследований

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук,
профессор, член-корреспондент АН РУЗ Талиб Мусаевич МУМИНОВ

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук Леонард Александрович МАЛОВ
кандидат физико-математических наук Константин Андреевич МЕЗИЛЕВ

Ведущая организация:

Российский университет дружбы народов, г. Москва

Защита диссертации состоится "____" _____ 1996 года
в <<____>> часов на заседании диссертационного совета Д 047.01.03
при Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных
исследований, г. Дубна, Московская область.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан "____" _____ 1996 года.

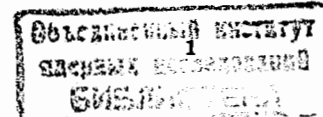
ученый секретарь
диссертационного совета
доктор физико-математических наук

Батусов Ю. А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время значительное внимание уделяется исследованию свойств ядер, удаленных от полосы β -стабильности. Характерная особенность этих ядер состоит в том, что энергия связи избыточных нуклонов мала (приближается к нулю у границ нуклонной стабильности), а энергия связи дефицитных нуклонов велика - с ростом дефицита достигает 20-30 МэВ. Асимметрия в величине энергии связи обоих типов нуклонов резко отличает рассматриваемые ядра от ядер в области β -стабильности, у которых энергии связи протонов и нейтронов близки. Эта особенность должна существенным образом сказаться на характере внутриядерных движений нуклонов, равновесной и динамической форме ядра, спектроскопических характеристиках возбужденных состояний, вероятностях всех видов ядерных переходов, характере массовой поверхности атомных ядер. В последующие годы выполнено ряд исследований, предсказывающих неизвестные ранее свойства ядер, удаленных от стабильных, открыты новые физические явления. Развита теоретические подходы, объясняющие эти новые явления.

Для проверки и развития теоретических моделей атомного ядра необходимо получение новой экспериментальной информации о свойствах удаленных ядер. С этой целью в ряде научных центров развиваются программы экспериментальных исследований ядер, удаленных от стабильных. Важное место среди них занимают экспериментальные комплексы, использующие сепараторы изотопов в режиме *on-line* с пучком частиц, производящих в ядерных реакциях нуклиды, удаленные от полосы стабильности. Структура удаленных нуклидов изучается методами прецизионной ядерной спектроскопии.



Настоящая работа выполнена в рамках программы ЯСНАПП-2 - программы исследований свойств ядер, удалённых от полосы бета-стабильности, с использованием методов ядерной спектроскопии высокого разрешения в линию с масс-сепаратором и пучком протонов с энергией 660 МэВ от фазотрона ОИЯИ.

В диссертации разработаны две научные проблемы, оказавшиеся доступными для эффективного экспериментального исследования на экспериментальном комплексе ЯСНАПП-2:

1. Исследование низкоспиновых возбужденных состояний ядра гадолиния-147, представляющего собой частицу (нейтрон) в поле дважды магического остова (ядро $^{146}_{64}\text{Gd}_{82}$).

2. Измерения разностей масс нуклидов при β -распаде.

Первая проблема представляет интерес в связи с тем, что структура ядер, близких к магическим, хорошо описывается оболочечной моделью ядра и это позволяет проверить точность (применимость) различных теоретических подходов для описания строения ядра.

Масса (энергия связи) является из одним главных свойств атомного ядра. Экспериментальные данные о массах атомных ядер сравниваются с предсказаниями моделей атомного ядра, многочисленными формулами для расчётов массовых характеристик ядер. Это даёт основу для дальнейшего развития теории ядра. Экспериментальные данные о разностях масс ядер при β -распаде необходимы также при анализе схем распада для вычислений вероятностей β -распада на уровни дочерних ядер.

В диссертацию включены также исследования, посвященные развитию и созданию новых экспериментальных методов на комплексе ЯСНАПП-2.

Основные цели работы: получение новой информации о свойствах атомных ядер, удалённых от полосы бета-стабильности:

1. Развитие на экспериментальном комплексе ЯСНАПП-2 новых прецизионных методов исследования свойств короткоживущих нуклидов, в том числе

а) создание β -спектрометра с полупроводниковым детектором электронов и магнитным фильтром типа мини-апельсин для измерения коэффициентов внутренней конверсии гамма-переходов;

б) оценка точности определения граничных энергий позитронных спектров и разностей масс ядер при β^+ -распаде по методике, развитой ранее для исследований на комплексе ЯСНАПП-2.

2. Исследование схемы распада низкоспинового изомера $1/2^+$ ^{147}Tb с целью получения экспериментальных данных о свойствах низкоспиновых состояний ядра ^{147}Gd .

3. Измерения разностей масс ядер, удалённых от полосы бета-стабильности, при их бета-распаде.

Научная новизна:

1. На экспериментальном ИЗОЛЬ-комплексе ЯСНАПП-2

а) создан β -спектрометр с магнитным фильтром типа мини-апельсин и развита методика измерения коэффициентов внутренней конверсии γ -переходов при распаде короткоживущих ядер,

б) завершено развитие методов измерения граничной энергии позитронных спектров и определения разностей масс удалённых от бета-стабильности ядер при их бета-распаде.

2. При исследовании β -распада изомера $1/2^+$ ^{147}Tb впервые идентифицированы состояние ^{147}Gd с энергией 1948 кэВ типа $2f_{5/2}$ и состояние 1628 кэВ с $1^{\pi}=5/2^+$ мультиплета ($uf_{7/2}\times 3^-$). Указано на

возможность интерпретации уровней 2233 и 2329 кэВ, как членов мультиплета ($\nu f_{7/2} \times 2^+$) с $1^\pi = 5/2^-$ и $3/2^-$. Показано, что группа возбужденных состояний с энергией 3.7+4.4 МэВ имеет заметную примесь компонента ($\pi s_{1/2}, \pi h_{11/2}, \nu h_{9/2}$), позволяющего ядру ^{147}Tb реализовать Гамов-Теллеровские переходы типа спин-флип.

3. Впервые измерены разности масс при β -распаде для двенадцати удаленных от полосы бета-стабильности нуклидов редкоземельной области.

Практическая ценность. Развитие методики измерения коэффициентов внутренней конверсии γ -переходов при распаде короткоживущих нуклидов и измерения граничных энергий позитронных спектров открывают новые возможности для исследований по программе ЯСНАПП-2 и могут быть использованы в исследованиях на ИЗОЛЬ-комплексах в других институтах.

Экспериментальные результаты о свойствах низкоспиновых состояний ядра ^{147}Gd будут полезны для проверки применимости и точности различных теоретических подходов к расчёту свойств ядер, близких к дважды магическому $^{146}_{64}\text{Gd}_{82}$.

Измеренные разности масс при бета-распаде двенадцати удаленных от стабильных ядер будут использованы для проверки точности различных подходов к расчётам массовых характеристик атомных ядер.

Автор защищает:

1. а) Создание установки и развитие методики определения коэффициентов внутренней конверсии γ -переходов при распаде короткоживущих нуклидов.

б) Завершение разработки методов измерения граничных энергий позитронных спектров и определения разностей масс при β -распаде короткоживущих, удаленных от стабильных ядер.

2. Экспериментальные результаты исследований свойств низкоспиновых возбужденных состояний ядра ^{147}Gd и их анализ в рамках оболочечной модели ядра.

3. Результаты измерений разностей масс при β -распаде двенадцати короткоживущих нуклидов.

Аппробация работы. Представляемые в диссертации результаты докладывались на семинарах НЭОЯС и РХ ЛЯП ОИЯИ и НИИФ ТашГУ, на Международных конференциях по ядерной спектроскопии в Алма-Ате (1992г), Дубне (1993г), Петергофе (1994г), Санкт-Петербурге (1995г), по атомным массам и константам в Арле, Франция (1995г) и опубликованы в следующих статьях:

1. Я. Ваврышук, К. Я. Громов, В. Г. Калинин, В. В. Кузнецов, Н. А. Лебедев, Т. М. Муминов, А. В. Потемпа, Я. А. Сайдимов, В. И. Фоминых, М. Б. Юлдашев, Ю. В. Юшкевич "Схема распада ^{147}Tb ($T_{1/2} = 1.7$ час)"
- Тезисы докладов 43-го совещания по ядерной спектроскопии и структура атомного ядра, Дубна, 1993, Санкт-Петербург, с. 71.
2. Я. Ваврышук, А. В. Потемпа, К. Я. Громов, В. Г. Калинин, Т. М. Муминов, Я. А. Сайдимов, Н. Ю. Котовский, Ж. Сэрээтэр, В. И. Фоминых, М. Б. Юлдашев "Бета-распад ^{147}Tb . Низкоспиновые состояния в ^{147}Gd "
- Сообщения ОИЯИ, Дубна, Р6-93-275, 1993.
3. Г. В. Веселов, К. Я. Громов, С. В. Евтисов, С. С. Елисеев, В. Г. Калинин, В. В. Кузнецов, А. В. Потемпа, Ж. Сэрээтэр, В. И. Фоминых, М. Б. Юлдашев "Определение энергий распада нейтронодефицитных ядер редкоземельных элементов в диапазоне масс $A=139-164$ ",

- Изв.РАН, сер. физ., т.58, №5, с.41-46, 1994г.
 - Сообщения ОИЯИ, Дубна, Р6-93-386, 1993.
- А.В.Потемпа, К.Я.Громов, С.В.Евтисов, В.Г.Калинников,
В.В.Кузнецов, Ж.Сэрээтэр, В.И.Фоминих, М.Юлдашев
- "Определение граничных энергий β^+ -спектров короткоживущих нуклидов редкоземельных элементов"
- Тезисы докладов 43-го совещания по ядерной спектроскопии и структура атомного ядра, Дубна, 1993, с.78
4. Ж.Сэрээтэр, М.Б.Юлдашев, В.М.Горожанкин, К.Я.Громов,
В.Г.Калинников, В.В.Кузнецов, Б.П.Осипенко, В.И.Фоминих,
"Установка для измерения спектров ЭВК и е γ -совпадений"
- Тезисы докладов 44-го Совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Санкт-Петербург, 1994, с.340.
 - Препринт ОИЯИ, Р13-94-267, 1994
5. В.И.Фоминих, Я.Ваврышук, Г.В.Веселов, К.Я.Громов, М.Левандовски,
А.В.Потемпа, Ж.Сэрээтэр, М.Б.Юлдашев,
"Спектрометрическая установка для изучения свойств короткоживущих нуклидов"
- ПТЭ, №5, стр.19, 1995г.
 - Препринт ОИЯИ, Р13-94-394, 1994г.
6. Я.Ваврышук, К.Я.Громов, В.И.Фоминих, В.Г.Чумин, М.Б.Юлдашев
"Тонкая структура α -спектра изомеров ^{151}Ho "
- Тезисы докладов 45-го совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Санкт-Петербург, 1995, с.70.
 - Изв.РАН, сер. физ., т.59, №11, с.92, 1995г.
 - Препринт ОИЯИ, Р6-95-300, 1995г.
7. J.Wawryszczuk, V.I.Fominykh, K.Ja.Gromov, V.G.Kalinnikov,

- Zh.Sereeter, M.B.Yuldashev "Internal conversion electrons in the β -decay of ^{147}Tb "
- Proc.of the 45th Conf. on Nucl.Spectr. and Nucl. Structure, S.Peterburg 1995, p.67.
8. В.М.Горожанкин, К.Я.Громов, В.Г.Калинников, Ш.Р.Маликов,
Т.М.Мунинов, М.Б.Юлдашев "Спин и чётность уровней 1579 кэВ и 2165 кэВ в $^{146}_{64}\text{Gd}_{82}$ при распаде ^{146}Tb "
- Препринт ОИЯИ, Дубна, Р6-95-415, 1995.
9. Г.В.Веселов, К.Я.Громов, В.Г.Калинников, Н.Ю.Котовский,
А.В.Потемпа, В.А.Сергиенко, В.И.Фоминих, М.Б.Юлдашев
"Определение энергий бета-распада изотопов редкоземельных элементов в диапазоне масс $A=134-141$ ",
- Изв.РАН, сер. физ., т.59, №11, с.55, 1995.
 - Препринт ОИЯИ, Дубна, Р6-95-257, 1995.
10. J.Wawryszczuk, M.B.Yuldashev, K.Ya.Gromov, V.I.Fominykh,
Zh.Sereeter, V.G.Kalinnikov, N.Yu.Kotovskij, K.V.Kalyapkin,
A.W.Potempa, I.N.Izosimov, M.Yu.Myakushin, A.A.Rimskij-Korsakov,
T.M.Muminov
"Low-spin states of $^{147}_{64}\text{Gd}_{82}$ in the β -decay of ^{147}Tb "
- Submitted to Zeitschrift für Physik A
 - Препринт ОИЯИ, Дубна, Р6-95-514, 1995.
11. K.Ya.Gromov, G.V.Veselov, V.G.Kalinnikov, N.Yu.Kotovskij,
A.V.Potempa, V.A.Sergienko, V.I.Fominykh, M.B.Yuldashev
"Beta-decay energies of some rare-earth nuclei with $A=134-140$ "
- Intern.Conf. on Exotic Nuclei and Atomic Masses, ENAM95, Arles, France, june 19-23, 1995, Abstracts of Contributed papers, p.PA7.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, трёх глав и заключения. Общий объём диссертации составляет 131 страниц машинописного текста, включая 47 рисунков, 7 таблиц и список цитированной литературы из 100 наименований.

Краткое содержание работы

Во введении дано обоснование выбора темы диссертации, актуальности и важности исследуемых проблем. Приведена структура диссертации.

В первой главе описана экспериментальная методика использованная в исследованиях, представляемых в диссертации.

Нуклиды, удалённые от полосы бета-стабильности получали на экспериментальном ИЗОЛЬ-комплексе ЯСНАПП-2 при облучении мишеней на выведенном протонном пучке фазотрона ОИЯИ. Исследования выполнены на спектрометрической установке для исследования α -, β - и γ -излучений при распаде короткоживущих нуклидов с $T_{1/2} \geq 1$ с. Применялись детекторы излучений, отвечающие современному мировому уровню экспериментальной техники. При создании электронных схем регистрации излучений и управления экспериментом применялись стандартные фирменные и разработанные в отделе электроники ЛЯП блоки. Используется транспортное устройство типа монетного автомата, обеспечивающее быструю (~0.5 с) доставку короткоживущих нуклидов от ионного пучка масс-сепаратора к детекторам излучений. Спектрометрическая установка обеспечивает возможность изучения спектров излучений и их (ЕЕ)- и (ЕЕt)-корреляций. Соискатель принимал участие в освоении и развитии спектрометрической установки. Установка используется в исследованиях по программе ЯСНАПП-2 в ЛЯП ОИЯИ с 1987 года. Представленные в диссертации результаты

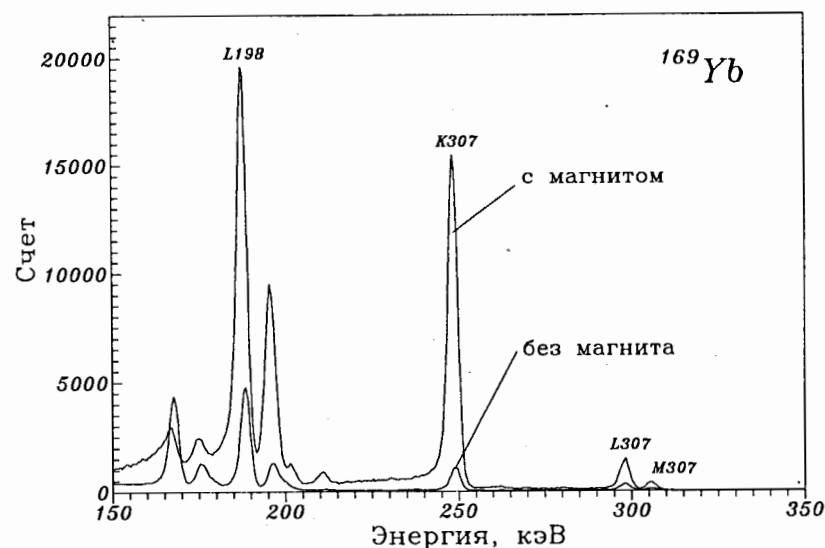


Рис.1. Спектр ЭВК ^{169}Yb измеренный Si(Li)-детектором с магнитом 6В(вверху) и без него(внизу)

являются частью этих исследований.

Для измерения коэффициентов внутренней конверсии γ -переходов при распаде короткоживущих нуклидов создан β -спектрометр с полупроводниковым детектором электронов и магнитным фильтром типа мини-апельсин. Показано, что использование магнитного фильтра увеличивает эффективность регистрации электронов в 25-30 раз при энергии электронов ~250 кэВ (рис.1) и в 7-8 раз при энергии электронов ~1400 кэВ. Важным преимуществом β -спектроскопии с мини-апельсином при исследовании спектров ЭВК короткоживущих нейтронодефицитных нуклидов является возможность исключить регистрацию позитронов; возникающих при β^+ -распаде изучаемых нуклидов и затрудняющих (или исключающих) обнаружение относительно слабых конверсионных линий. Показано, что применение магнитного фильтра понижает сплошной позитронный фон более чем в 250 раз.

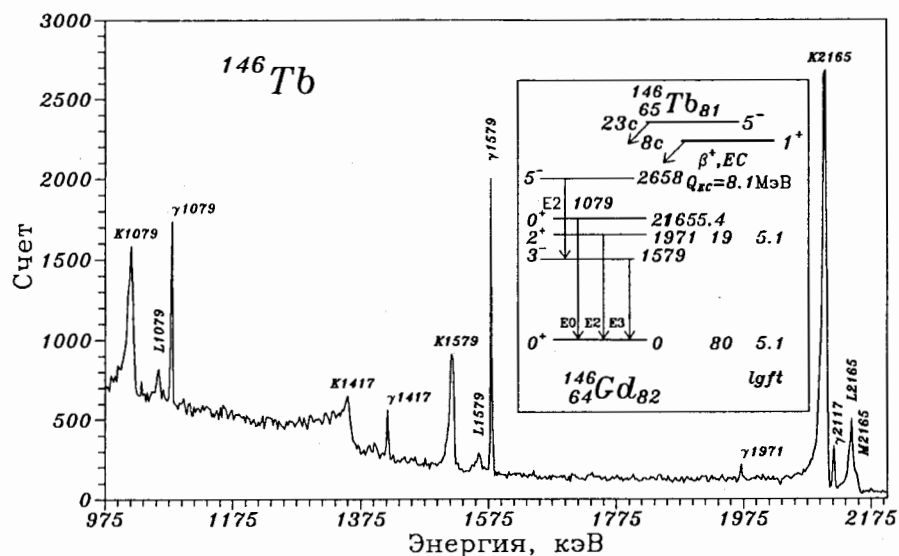


Рис. 2. Спектр ЭВК и γ -лучей нейтронодефицитных нуклидов с $A=146$, измеренный с помощью β -спектрометра с магнитным фильтром типа миниапелсин на ИЗОЛЬ-комплексе ЯСНАПП-2

Трансмиссия β -спектрометра с магнитным фильтром сильно зависит от энергии регистрируемых электронов и меняется при незначительных изменениях расположения источника излучения, магнита миниапельсина и детектора электронов. Чтобы избежать кропотливой работы по измерению трансмиссии β -спектрометра с магнитным фильтром с разными сборками магнитов миниапельсина в различных геометрических условиях, одновременно с измерением спектра ЭВК с помощью β -спектрометра с магнитным фильтром измеряется спектр γ -лучей. Для калибровки установки измеряются спектры ЭВК и γ -лучей от источников, испускающих γ -лучи с хорошо известными величинами коэффициентов внутренней конверсии. Например в случае γ -переходов между уровнями $2^+ \rightarrow 0^+$, $4^+ \rightarrow 2^+$ и т.д. в чётно-чётных ядрах можно использовать расчётные величины КВК. Такая калибровка

не требует никакой дополнительной информации о спектрах γ -лучей и ЭВК исследуемого изотопа, что важно при изучении свойств удалённых от β -стабильных ядер. На рис.2 представлен спектр ЭВК и γ -лучей изомеров ^{146}Tb , с использованием которого определены α_k и мультипольности γ -переходов 1579 кэВ (E3) и 2165 кэВ (E0).

Таким образом на экспериментальном комплексе ЯСНАПП-2 реализована возможность измерения коэффициентов внутренней конверсии и определения мультипольности γ -переходов с энергией до ~ 3.5 МэВ.

Во второй главе представлены результаты исследований распада изомера $1/2^{+} \text{ } ^{147}\text{Tb}$, $T_{1/2}=1.6$ часа. Экспериментальное изучение этого распада позволяет получить сведения о свойствах низкоспиновых возбужденных состояний ^{147}Gd . Для прецизионных исследований распада ^{147g}Tb необходимо было изготовить источники предельной чистоты. С этой целью из облученной на внутреннем пучке протонов, ($E_p=660$ МэВ) фазотрона танталовой мишени выделялась фракция изотопов тербия, из которой затем на масс-сепараторе ЯСНАПП-2 отделялся ^{147}Tb . В полученном источнике содержался ^{147g}Tb (1.6 ч.) и его дочерние продукты. Примеси нуклидов других масс были менее 1%.

На рис.3 представлен один из полученных γ -спектров. Обнаружены все γ -переходы, возникающие при распаде $^{147}\text{g Tb}$ с интенсивностью более 0.06% на распад. Их количество 127, из них 114 наблюдались впервые. Использование β -спектрометра с магнитным фильтром для исследования спектра конверсионных электронов (рис.4) позволило впервые определить мультипольности γ -переходов: 554.6 кэВ - E1, 1285.5 кэВ - M1, 1295.5 кэВ - E3, 1319.2 кэВ - M1, 1324.3 кэВ - (E1), 1396.4 кэВ - M1, 1415.4 кэВ - M1, 1465.8 кэВ - M1, 1535.2 кэВ - M1-E2, 1583.7 кэВ - (M1), 1585.6 кэВ - (M1), 1627.9 кэВ - E1,

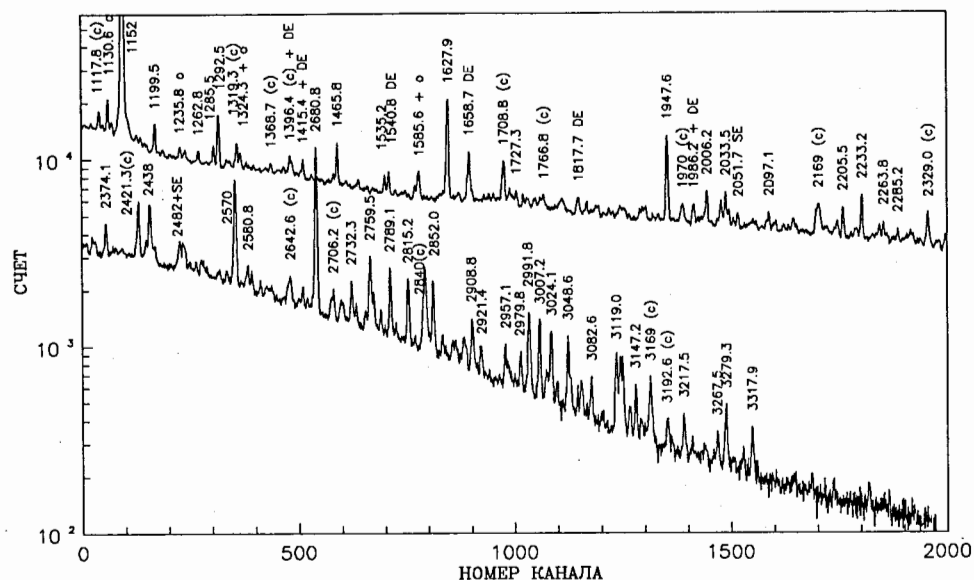


Рис. 3. Высокоэнергетическая часть спектра ^{147}Tb ($T_{1/2} = 1.64$ часа).

Отмечены: o - фотопики примесного ^{147}Gd ; (с) - сложные пики; (DE) - пики двойного вылета; (SE) - пики одиночного вылета.

1707.1 кэВ - E1, 1709.6 кэВ - E1 и 1927 кэВ - M1. В измерениях спада интенсивности наиболее сильных пиков в спектрах γ -лучей и конверсионных электронов получено точное значение периода полураспада ^{147}Tb - $T_{1/2} = (1.64 \pm 0.03)$ часа. По сравнению с литературными данными точность определения $T_{1/2}$ повышена в три раза.

С целью снять противоречие в литературных данных об энергии β -распада ^{147}Tb выполнены эксперименты по исследованию тонкой структуры α -спектров при распаде изомерных состояний ядра ^{151}Ho и по определению разности масс ядер ($^{147}\text{Tb} \rightarrow ^{147}\text{Gd}$). Подтверждены результаты, полученные физиками Орсе, Франция и Дармштадта, Германия.

В исследованиях спектров γ - γ -совпадений при распаде ^{147}Tb обнаружено 168 пар совпадающих γ -переходов. Большинство обнаруженных γ -переходов наблюдаются в спектрах совпадений.

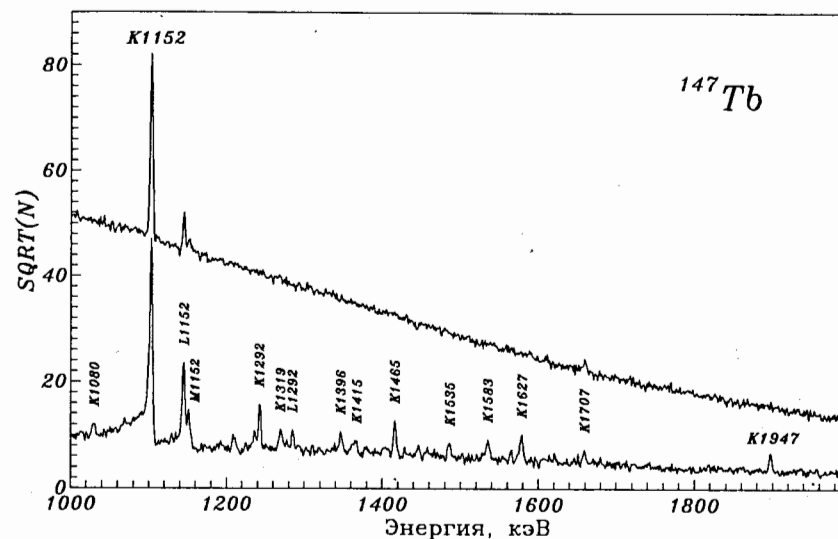


Рис. 4. Спектры ЭВК от источника ^{147}Tb , измеренные с помощью Si(Li)-детектора с магнитом 6А (внизу) и без него (вверху)

На основе полученных экспериментальных данных построена новая, более полная схема β -распада ^{147}Tb , включающая себя 44 возбужденных состояния ^{147}Gd (из них 38 новые). В таблице 1 представлены сведения об уровнях ^{147}Gd полученные при анализе экспериментальных данных. Энергии ранее известных уровней отмечены в первой колонке таблицы знаком *. Во второй колонке приведены энергии γ -переходов с соответствующего уровня, их мультипольность и интенсивность в % на распад. Сведения о γ -переходах, размещение которых в схеме распада не подтверждено совпадениями, взяты в скобки. В третьей колонке дается интенсивность заселения уровня β -распадом ^{147}Tb . В четвертой - вычислены значения $\log ft$. В последней колонке представлены заключения о спине и четности уровня, основанные на мультипольностях γ -переходов, значениях $\log ft$ и

Таблица 1. Свойства уровней ^{147}Gd , возбуждаемых при распаде ^{147}Gd .

Энергия уровня (кэВ)	γ -переходы с уровня E_γ (кэВ), σL , $I_{\text{tot}}(\Delta I_{\text{tot}})^a$	$I_{EC} + \beta^+$ %	Logft	I^π
1	2	3	4	5
0.00		0.00		$7/2^{-b}$
1152.54(3)*	1152.5 E2 100.2(2.5)	5.9(2.7)	7.0	$3/2^{-b}$
1292.43(4)*	1292.5 E3 1.25(6), 139.9 E1 38(1)	8.6(1.3)	6.8	$1/2^{+b}$
1412.17(5)*	259.6 \leq 0.4, 119.7 M1+E2 16.9(6)	8.38(26)	6.84	$3/2^{+b}$
1627.91(6)	1627.9 E1 3.14(12)	1.91(13)	7.37	$5/2^+$
1699.49(4)*	547.0 E1 2.20(6), 407.1 M1 2.04(8)			
	287.4 0.22(7)	2.96(15)	7.15	$3/2^{+b}$
1759.83(6)*	467.4 0.14(7), 347.7 M1 2.80(7)	1.50(12)	7.43	$1/2^{+b}$
1847.08(4)*	694.5 M1 41.6(9), 554.6 E1 5.80(13), 435.0 0.68(5)	42.2(14)	5.96	$1/2^{-b}$
1947.58(6)	1947.6 M1 2.19(6)	1.78(6)	7.31	$5/2^-$
2233.17(4)	2233.2 0.72(3), (1080.5 0.06(4))	0.61(6)	7.64	$(5/2^-)$
2329.0(1)	2329.0 0.45(7)	0.40(6)	7.81	$(5/2, 7/2)$
2438.03(6)	2438.0 1.06(4), 1285.5 M1 0.36(2), 1025.8 0.38(3)	1.29(8)	7.26	$(5/2, 3/2)^-$
2611.68(8)	1319.2 (M1) 0.38(5), 1199.5 0.66(3)	0.93(6)	7.32	$(1/2, 3/2)^+$
2736.3(2)	1583.7(M1) 0.29(4), 1324.3 E1 0.18(3)	0.42(5)	7.61	$<5/2^-$
2808.4(3)	1655.7 0.21(2), 1396.4 (M1) 0.20(6))	0.28(8)	7.73	
2862.0(2)	1709.6 E1 0.57(7)	0.51(6)	7.47	$<5/2^+$
2871.6(2)	(1718.5 0.09(3)), 1579.2 0.19(3), 1243.5(0.12(5))	0.36(6)	7.61	
2878.00(8)	1585.6 (M1) 0.30(4), 1465.8 M1 0.82(4), 1178.6 0.11(2), 1117.8 0.3(1)	1.37(11)	7.04	$1/2, 3/2^+$
2947.4(1)	1535.2 M1 0.34(2), 1319.8 (M1) 0.14(3)	0.37(6)	7.57	$(3/2, 5/2)^+$
3119.0(2)	3119.0 0.27(1), (1707.1 E1 0.30(4))	0.51(5)	7.32	$(3/2, 5/2)$
3121.8(2)	(1968.5 0.05(4)), 1709.6 E1 0.14(4)	0.17(6)	7.79	
3124.2(3)	3124.2 0.23(2), (1971.6 0.16(4))	0.35(5)	7.49	$(3/2, 5/2)$
3171.5(4)	1411.8 0.07(3), 1324.3 E1 0.10(5)	0.15(5)	7.83	$(1/2^+, 3/2^+)$
3319.6(3)	2167.5 0.15(5), 2027.4 0.27(6), (1907.5 0.14(3))	0.50(9)	7.20	

Таблица 1. (продолжение)

1	2	3	4	5
3325.8(1)	2173.2 0.18(3), 2033.5 0.60(4)	0.70(5)	7.05	
3574.0(3)	2421.0 0.6(2), 1727.3 0.14(3), (1136.1 0.16(3))	0.81(18)	6.79	
3715.4(1)	2562.9 1.96(10), 2422.8 0.14(9)	1.89(14)	6.29	$(1/2, 3/2)$
3833.3(1)	2680.8 3.90(12), 2421.0 0.48(6), 2205.5 0.50(2), 1986.2 0.15(3)	4.52(17)	5.78	$1/2^+$
3853.2(1)	2560.8 0.38(6), 2093.5 0.13(3), 2006.2 0.49(2), (1415.4 (M1) 0.20(3))	1.08(8)	6.38	$(3/2)^-$
3891.7(2)	(2738.9 0.14(2)), 2263.8 0.15(2), (2193.1 0.08(2)), 2131.9 0.20(2), 2044.6 0.09(2)	0.59(5)	6.59	$(1/2^+, 3/2^-)$
3926.0(4)	(2775.3 0.12(2)), 2165.8 0.16(4)	0.25(5)	6.88	
3967.7(1)	2815.2 0.49(2)	0.44(2)	6.61	
3998.7(2)	2706.2 0.20(2), 2586.6 0.15(3)	0.31(4)	6.72	
4051.9(1)	2759.5 0.79(3), 2639.7 0.13(2), (1243.5(0.10(4))	0.91(6)	6.17	$(1/2, 3/2)$
4073.7(1)	(2921.4 0.13(3)), 2661.4 0.14(2), 2374.1 0.39(4), 2225.8 0.09(2)	0.67(6)	6.26	
(4117.6(3))	(2489.6 0.11(5)), (2418.2 0.11(3))	0.20(5)	6.70	
4132.3(2)	(2979.5 0.13(2), 2840.1 0.60(6), 2719.9 0.11(2), (2432.6 0.21(2)	0.94(9)	6.00	$(1/2, 3/2)$
4144.4(1)	2991.8 0.41(3), 2852.0 0.55(3), 2732.3 0.35(2), 2444.4 (0.15(5)), 2197.1 0.21(2)	1.50(7)	5.78	$(1/2^-)$
4176.6(1)	3024.1 0.36(2), 2764.4 0.26(3)	0.56(4)	6.14	$(1/2, 3/2)$
4201.2(1)	3048.6 0.25(1), 2908.8 0.29(2), 2789.1 0.54(3), 2354.2 0.12(3), (1968.5 0.05(4))	1.11(6)	5.83	$(1/2)$
4249.7(2)	(2957.1 0.14(3)), 2837.8 0.26(4), (2489.5 0.10(5))	0.36(6)	6.15	$(1/2, 3/2)$
4280.4(1)	3128.3 0.21(2), 2580.8 0.20(3)	0.37(4)	6.04	$(1/2, 3/2)$
4299.7(2)	3147.2 0.13(2), 3007.2 0.38(3)	0.46(4)	5.89	$(1/2)$
4369.8(5)	(3217.5 0.08(2)), 2610.0 0.06(2)	0.13(3)	6.18	$(1/2, 3/2)$
(4431.4(3))	(3279.3 0.14(2)), (3139.0 0.06(1)), (3018.8 0.11(2))	0.27(3)	5.55	$(1/2^+)$

способах разрядки и заселения уровня γ -переходами. Известные до наших исследований значения I^π отмечены буквой В.

Как видно из таблицы большинство уровней подтверждается совпадениями (многие уровни - неоднократно). Только три уровня вводятся на основе совпадений сумм энергий γ -переходов.

Рассмотрение полученных экспериментальных данных о β -распаде ядра ^{147}Tb в рамках оболочечной модели позволило сделать ряд выводов о свойствах низкоспиновых состояний ядра ^{147}Gd . Впервые идентифицировано состояние $2f_{5/2}$, 1947.6 кэВ нейтронной оболочки 82-126. Подтверждена интерпретация уровней 1294.4 и 1412.2 кэВ, как $I^\pi=1/2^-$ и $3/2^-$ членов мультиплета $(\nu f_{7/2} \times 3^-)$; впервые экспериментально наблюдается состояние $I^\pi=5/2^+$, 1627.9 кэВ этого мультиплета. Уровни $1/2^+$, 1759.9 кэВ и $3/2^+$, 1699.5 кэВ интерпретируются как дырочные состояния в нейтронной оболочке (50-82). Полученные экспериментальные данные позволяют интерпретировать уровни 2233.2 и 2329 кэВ в качестве членов мультиплета $(\nu f_{7/2} \times 2^+)$ с $I^\pi=5/2^-$ и $3/2^-$. Большая группа уровней с энергией выше 3.8 МэВ и относительно большой вероятностью β -распада на них ($\log ft=5.8 \pm 6.6$) интерпретируется, как трёхквартичные с значительной примесью состояния $(\pi s_{1/2}, \pi h_{9/2}, \nu h_{9/2})_{1/2^+, 3/2^+}$, обеспечивающего Гамов-Теллеровский, разрешенный β -переход из состояния $\pi s_{1/2}^{+} \ ^{147}\text{Tb}$.

В третьей главе представлены экспериментальные результаты измерений граничных энергий позитронных спектров и разностей масс при β -распаде для 33-х нуклидов редкоземельных элементов.

Спектры позитронов изучали с помощью детекторы из сверхчистого германия с толщиной чувствительного слоя 9 мм. Граничная

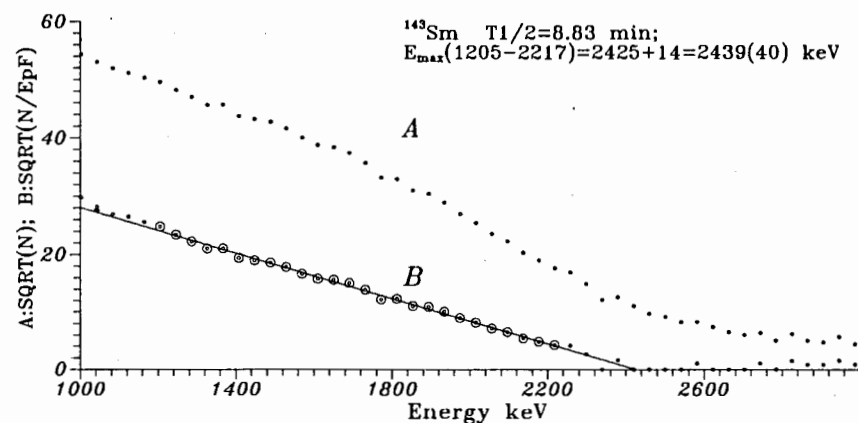


Рис.5. А - позитронный спектр ^{143}Sm ; В - график Ферми-Кюри энергия позитронных спектров определялась методом Ферми-Кюри (рис.5). Экспериментальный спектр исправлялся на функцию отклика детектора, учитывающую искажения, вносимые обратным и боковым рассеянием позитронов и эффектом суммирования в детекторе амплитуд импульсов от позитронов и аннигиляционного излучения.

Измеренные в настоящей работе значения граничных энергий жёстких компонентов позитронных спектров $E_{\beta^+}^{\max}$ и соответствующие им энергии бета-распада Q_{β^+} представлены в таблице 2.

Сравнение полученных значений с известными литературными данными представлено на рис.6. На рисунке разности измеренных нами и наиболее точных литературных значений $E_{\beta^+}^{\max}$ отложены в зависимости от величины E_{β^+} . Указываются ошибки литературных данных. Видно, что величины разностей располагаются около нулевого значения, что позволяет утверждать что используемая процедура об-

Таблица 2. Граничные энергии и величины $Q_{\text{ЕС}}$ (кэВ)

A	Z	$T_{1/2}$	настоящая работа		Лит. данные
			$E_{\beta^+ \text{ гр.}}$	$Q_{\text{ЕС}}$	
134	Pm	22.6 сек	7360(200)* ¹⁾	9200(200)* ¹⁾	8880
134	Pr	11 мин	4160(90)* ¹⁾	6230(90)* ²⁾	6210
137	Pm	49 сек	4920(150)* ¹⁾	6050(200)* ¹⁾	6020
137	Sm	45 сек	4880(70)* ¹⁾	5900(70)* ¹⁾	6050
137	Pm	2.4 мин	4110(60)* ¹⁾	5640(60)* ³⁾	5580
138	Pm	10 сек	6060(60)	7080(60)	7090(100)
139	Eu	17.9 сек	4600(50)* ¹⁾	6080(50)* ⁴⁾	6680
139	Pm	4.2 мин	3450(50)	4480(50)	4540(40)
140	Eu	1.5 сек	7450(50)* ¹⁾	8470(50)* ¹⁾	8400
140	Pm	9.2 сек	5000(30)* ¹⁾	6020(30)	6090(40)
141	Eu	40 сек	4960(40)* ¹⁾	5980(40)	5950(40)
141	Sm	10.2 мин	2981(60)	4420(80) ⁵⁾	4460(55)
142	Eu	1.22 мин	4756(60)* ¹⁾	8150(60) ⁶⁾	8175(50)
142	Eu	2.4 сек	6648(30)* ¹⁾	7670(30)* ¹⁾	7400(100)
143	Eu	2.61 мин	4214(30)	5236(30)	5240(70)
143	Sm	8.83 мин	2439(40)	3461(40)	3443(11)
144	Eu	10.2 сек	5265(30)* ¹⁾	6287(30)	6330(30)
146	Tb	8.1 сек	7288(50)* ¹⁾	8310(50)	8240(150)
154	Tm	3.3 сек	4882(80)* ¹⁾	8233(80)* ⁷⁾	7980
156	Tm	84 сек	6091(80)* ¹⁾	7113(80)* ¹⁾	7030
157	Yb	37 сек	4052(100)* ¹⁾	5074(100)* ¹⁾	5170
157	Tm	3.7 мин	3460(100)* ¹⁾	4482(100)	4480(100)
157	Er	18.5 мин	2525(100)	3547(100)	3470(80)
158	Tm	4.02 мин	5410(60)* ¹⁾	6624(60) ⁸⁾	6530(100)
159	Lu	12.3 сек	4781(150)* ¹⁾	5803(150)	5850(150)
159	Yb	1.4 мин	3143(100)* ¹⁾	4334(100) ⁹⁾	5050(200)
159	Tm	9.15 мин	2648(100)* ¹⁾	3670(100)	3850(100)
161	Lu	1.2 мин	3866(60)* ¹⁾	4888(60)	5300(100)
161	Yb	4.2 мин	2563(80)* ¹⁾	3585(80)* ¹⁾	4280
162	Lu	1.2 мин	6006(120)* ¹⁾	7028(120)	6960(100)
162	Tm	21.7 мин	3770(50)* ¹⁾	4790(50)	4820(50)
164	Lu	3.14 мин	5190(120)* ¹⁾	6213(120)	6250(90)
164	Tm	2 мин	2945(50)	3966(50)	3962(20)

*) Экспериментальные значения $E_{\beta^+ \text{ гр.}}$ и $Q_{\text{ЕС}}$ получены впервые.

1) - 9) . Рассматриваемый компонент β - спектра связан с распадом на уровень: 1) 294+495; 2) 1048; 3) 520; 4) 457; 5) 420; 6) 2372; 7) 2329; 8) 12; 9) 169 кэВ дочернего ядра.

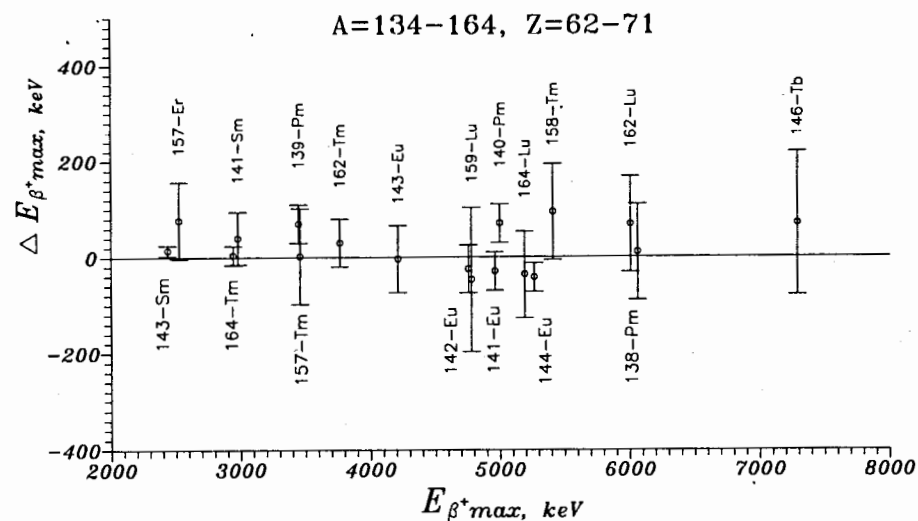


Рис. 6. Сравнение полученных значений $E_{\beta^+ \text{ max}}$ с ранее известными экспериментальными величинами

работки позитронных спектров даёт правильные результаты и позволяет определять энергии распада ядер с точностью до 30 кэВ. Таким образом показано, что используемая методика измерения граничных энергий позитронных спектров короткоживущих нуклидов в *on-line* экспериментах позволяет достичь необходимой точности значений разностей масс. Методика измерений граничных энергий позитронных спектров, разработка которой завершена этими исследованиями, успешно применяется на экспериментальном комплексе ЯСНАПП-2.

Значения разностей масс при β -распаде 12-ти удалённых от полосы β -стабильности ядер получены впервые. Эти данные удовлетворительно согласуются с соответствующими значениями из систематики Вапстра и Ауди. Сравнение новых данных о разностях масс ядер с вычислениями по различным формулам для масс ядер будет сделано позднее по мере накопления новых экспериментальных данных.

В заключении суммированы основные результаты диссертации:

1. Создана спектрометрическая установка для исследования спектров α -, β - и γ -излучений в *on-line* режиме на экспериментальном ИЗОЛЬ-комплексе ЯСНАПП-2. Установка включает в себя транспортное устройство для доставки короткоживущих нуклидов с ионного пучка масс-сепаратора к детекторам излучений. Соискатель принимал участие в наладке аппаратуры и её эксплуатации.

2. На экспериментальном комплексе ЯСНАПП-2 создана установка и разработана методика *on-line* (и *off-line*) измерений коэффициентов внутренней конверсии γ -переходов с использованием β -спектрометра с магнитным фильтром типа миниапельсин.

3. Определены энергии изомерных состояний $1/2^+$ и $11/2^-$ в ядре ^{147}Tb и разность масс нуклидов ($^{147}\text{Tb} \longrightarrow ^{147}\text{Gd}$).

4. На основе детального исследования спектров γ -лучей, электронов внутренней конверсии и γ - γ -совпадений при β^+ -распаде $1/2^+$ ^{147}Tb (1.6 часа) построена схема распада, включающая в себя 44 низкоспиновых состояния ^{147}Gd (из них 38 новые). При анализе экспериментальных результатов впервые идентифицированы состояние $\nu 2f_{5/2}$, 1948 кэВ и состояние $5/2^+$ мультиплета ($\nu f_{7/2} \times 3^-$). Указано на возможность интерпретации уровней 2233 и 2329 кэВ, как членов мультиплета ($\nu f_{7/2} \times 2^+$) с $I^\pi = 5/2^-$ и $3/2^-$. Показано, что группа уровней ^{147}Gd с энергией 3.7 ± 4.4 МэВ имеет заметную примесь трехкваркочастичного компонента ($\pi S_{1/2}, \pi h_{11/2}, \nu h_{9/2}$).

5. Завершена разработка методики измерений граничных энергий позитронных спектров с помощью HrGe -детектора.

6. Впервые измерены разности масс при β -распаде для 12-ти удалённых от полосы стабильности нуклидов.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 апреля 1996 года.