

С 341.28.

И-517

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

6 - 5795

Н. Ненов

У1-68

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ
ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЯДЕР
 ^{176}Hf , ^{175}Hf , ^{173}Hf

Специальность 055 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1971

Н. Ненов

СЗ41.2В
Н-517

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук

И. Звольски

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук

И.Х. Лемберг

кандидат физико-математических наук

Н.И. Пятов

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Институт физики АН Латв.ССР.

Автореферат разослан " " 1971 года.

Защита диссертации состоится " " 1971 года на заседании Ученого совета Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

Ю.А. Батусов

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ
ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЯДЕР

^{176}Hf , ^{175}Hf , ^{173}Hf

Специальность 055 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

4860 вр.

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Систематические и многосторонние экспериментальные исследования ядер методом ядерной спектроскопии являются одним из главных источников для понимания многочисленных ядерных явлений. Значительный интерес представляют теоретические и экспериментальные исследования ядер, обладающих равновесной деформацией ($152 \leq A \leq 188$, $A \geq 228$), ряд свойств которых успешно описывается обобщенной и сверхтекучей моделью ядра. С целью получения более полной информации о свойствах деформированных ядер и особенно о структуре уровней в области более высоких энергий возбуждений были предприняты настоящие исследования.

Работа посвящена изучению структуры уровней деформированных нейтронодефицитных ядер $^{176}_{72}\text{Hf}$, $^{175}_{72}\text{Hf}$, $^{173}_{72}\text{Hf}$, $^{104}_{72}\text{Hf}$, $^{103}_{72}\text{Hf}$ и $^{101}_{72}\text{Hf}$ при радиоактивном распаде ^{176}Ta , ^{175}Ta и ^{173}Ta соответственно. Проведены измерения спектров конверсионных электронов, позитронов, гамма-лучей, гамма-гамма-совпадений и тройных $\beta^+ - \gamma$ -совпадений. Были получены сведения о временах жизни некоторых возбужденных состояний. Предложены схемы уровней изучаемых ядер. Экспериментальные результаты о свойствах возбужденных состояний сравниваются с теоретическими расчетами, проведенными для указанных ядер в рамках сверхтекучей модели ядра.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения.

В первой главе дается краткое изложение модельных представлений о структуре уровней деформированных ядер.

Во второй главе рассмотрены методические вопросы эксперимента.

Изучавшиеся в работе нейтронодефицитные изотопы тантала получались в реакции глубокого расщепления золота быстрыми протонами ($E_p = 660$ Мэв). Облучение мишеней проводилось на внутреннем пучке протонов синхротрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. В некоторых случаях изучаемые изотопы тантала получались при облучении мишеней тербия и гольмия на циклотроне тяжелых ионов У-300 Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Использовалась следующая спектрометрическая аппаратура:

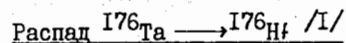
а) бета-спектрометр с двойной двукратной фокусировкой на угол $\pi \sqrt{2}$, обладающий низким фоном (разрешение 0,2% и светосила 0,25% от 4 \tilde{V} ; фон менее 1-го отсчета за 24 часа);

б) гамма-спектрометры с полупроводниковыми $Ge(Li)$ -детекторами коаксиального типа с чувствительными объемами 4, 5, 6, 10, 13 и 30 см³. Энергетическое разрешение составляло 4±6 кэв на линиях ⁶⁰Со.

в) спектрометр двумерных гамма-гамма-совпадений с применением $Ge(Li)$ -детекторов и ЭВМ "Минск-2".

г) установка для измерения времен жизни возбужденных состояний.

Часть полученной экспериментальной информации обработана с помощью ЭВМ "Минск-2".



Третья глава посвящена результатам исследования распада ¹⁷⁶Ta. Изучен спектр гамма-лучей. Спектры конверсионных электронов измерялись в области энергии выше 700 кэв. Получены сведения об энергиях и интенсивностях гамма-лучей и конверсионных электронов 145 переходов, из которых свыше 40 наблюдались впер-

вые. Обнаружены две компоненты позитронного излучения с граничными энергиями: $E_{гр.1} = 860 \pm 60$ кэв и $E_{гр.2} = 1860 \pm 60$ кэв, относительные интенсивности которых находятся в отношении $I_1 : I_2 = 5 : 7$. Общая интенсивность позитронов составляет $0,6 \pm 0,2$ % на распад. Проведены измерения тройных $\beta^+ - \gamma$ -совпадений. Изучены спектры гамма-гамма-совпадений с 26 гамма-линиями. Измерено время жизни состояния с $E = 1248$ кэв: $T_{1/2} = 4,43 \pm 0,11$ нсек и нижний предел времени жизни состояния 1313 кэв: $T_{1/2} \leq 2$ нсек.

Определены мультипольности большинства гамма-переходов.

На основе совокупности всех экспериментальных данных предлагается схема распада ¹⁷⁶Ta \longrightarrow ¹⁷⁶Hf (рис. 1), содержащая 40 уровней, из которых 20 введены впервые.

Компоненты позитронного излучения с $E_{гр.} = 1860$ и 860 кэв можно отнести к бета-распаду на уровни 88,3 и 1248 кэв соответственно, что согласуется со значением разности масс ¹⁷⁶Ta \longrightarrow ¹⁷⁶Hf измеренным в ^{2/}: 3050^{+380}_{-40} кэв.

Определены вероятности заселения уровней ¹⁷⁶Hf бета-распадом ¹⁷⁶Ta и соответствующие значения $\log ft$.

Для всех состояний определены квантовые характеристики, проводится их интерпретация. Результаты настоящих исследований во многих случаях противоречат выводам, сделанным в работе ^{2/}.

Наиболее вероятными квантовыми характеристиками основного состояния ¹⁷⁶Ta являются $I = 1^-$ [p404† - n512†]. К такому заключению приводит и обсуждение результатов по распаду ¹⁷⁶W \longrightarrow ¹⁷⁶Ta ^{3/}.

Результаты изучения свойств уровней ¹⁷⁶Hf согласуются качественно с результатами расчетов, проведенных на основе сверхтекучей модели ядра с учетом мультиполь-мультипольных взаимодействий ^{1/}.

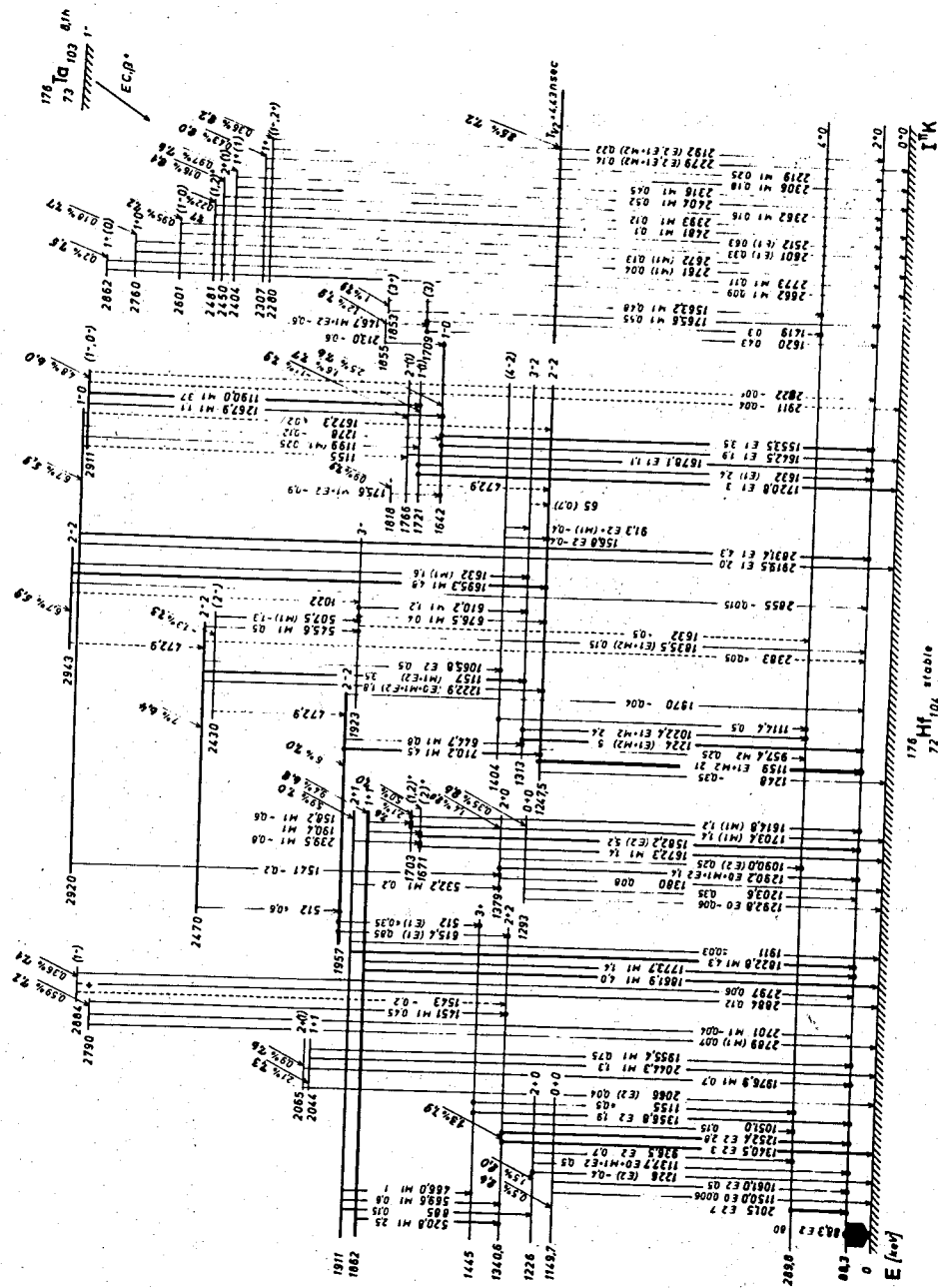


Рис. 1. Схема распада $I76_{Ta} \rightarrow I76_{Hf}$ — обозначение совпадений.

1. Нами идентифицированы коллективные состояния типа бета-вibrации с $K^\pi=0^+$ (1150 кэв), гамма-вibrаций с $K^\pi=2^+$ (1341 кэв) и октупольных vibrаций с $K^\pi=0^-$ (1642 кэв), с $K^\pi=1^-$ (1721 кэв) и с $K^\pi=2^-$ (1248 и 1957 кэв). Лучшее согласие с экспериментальным положением 0^+ -состояния (1150 кэв) и значением параметра $\chi=0,29 \pm 0,11$ дадут расчеты, проведенные с учетом спин-квадрупольного взаимодействия Кулиевым и Пятовым^{4/}.

2. Обнаружено второе состояние с $K^\pi=0^+$ при энергии 1293 кэв, которое отличается большим значением параметра $\chi=7 \pm 3$. Состояния такого типа ниже энергетической щели в четно-четных ядрах пока не наблюдались. Природу этого состояния нельзя объяснить в рамках обобщенной или сверхтекучей модели ядра. Возможно, что такое возбуждение связано с предсказанием теории Беляева^{5/} о существовании спаривательного взаимодействия, удовлетворяющего требованию градиентной инвариантности.

3. Наблюдаются отклонения от правила Алаги (обобщенная модель) для интенсивностей E2-переходов с уровней вращательных полос с $K^\pi=0^+$ и $K^\pi=2^+$. Параметры смешивания: $Z_0 \approx 0,03$ для полосы с $K^\pi=0^+$ (1150 кэв), $Z_0=0,04 \pm 0,01$ для $K^\pi=0^+$ (1293 кэв) и $Z_2=0,06 \pm 0,11$ для $K^\pi=2^+$ (1341 кэв).

4. Полосы состояния с энергиями 1862 кэв $K^\pi=1^+$ и 2044 кэв $K^\pi=1^+$, для которых значения $\log ft$ могут соответствовать бета-переходам типа "I u", весьма вероятно, относятся к возбуждениям двухквартичных состояний $\Gamma_{nn}^+[514 \downarrow - 512 \uparrow]$ и $\Gamma_{pp}^+[404 \downarrow - 402 \uparrow]$, соответственно.

5. В двух случаях наблюдается существенное отклонение от условия адиабатичности обобщенной модели, что указывает на существенное влияние "отталкивающего" взаимодействия между уровнями полос квадрупольных состояний с $K^\pi=0^+$ (1293 кэв) и $K^\pi=2^+$ (1341 кэв), а также между уровнями полос октупольных состояний с $K^\pi=1^-$ (1721 кэв) и с $K^\pi=0^-$ (1642 кэв).

6. Низкие значения $\log ft$ для бета-распада на состояния 2920 кэв ($I^{\pi}k = 1^{-}0$), 2911 кэв ($I^{\pi} = 0^{-}, 1^{-}$) и 2943 кэв ($I^{\pi}k = 2^{-}2$) свидетельствуют о наличии бета-переходов типа $p514\uparrow \rightarrow n514\downarrow$, приводящих к образованию четырехквартичных возбуждений. Таким образом, в состояниях 2911 и 2920 кэв присутствует компонента с $k^{\pi} = 0^{-}$ { $p404\downarrow - p514\uparrow - n512\uparrow + n514\downarrow$ }, а в состоянии 2943 - компонента с $k^{\pi} = 2^{-}$ { $p404\downarrow + p514\uparrow - n512\uparrow - n514\downarrow$ }.

7. В немногих случаях в четно-четных ядрах известно о возбуждениях с $I^{\pi}k = 0^{-}0$. В ядре ^{176}Hf , по всей вероятности, можно отнести к полосе такого типа состояний уровни 1818 кэв (0^{-}) и 1855 кэв (2^{-}). Квантовые характеристики $I^{\pi} = 0^{-}$ имеет, вероятно, также уровень 2911 кэв.

8. Идентифицирован уровень с энергией 2470 кэв $I^{\pi}k = 2^{-}2$, который имеет свойства двухфононного состояния (квадрупольный фонон с $k^{\pi} = 0^{+}$ плюс октупольный фонон с $k^{\pi} = 2^{-}$).

9. Обнаружен ряд состояний с возможными квантовыми характеристиками $I^{\pi} = 1^{+}$ в области энергий выше 2 Мэв, появление которых, вероятно, относится к возбуждениям, связанным с остаточными спин-спиновыми взаимодействиями^{/6/}.

Распад $^{175}\text{Ta} \rightarrow ^{175}\text{Hf}$ /7/

Четвертая глава посвящена результатам исследований распада ^{175}Ta . Исследовались конверсионные электроны ^{175}Ta в области энергии выше 800 кэв. Полученные данные существенно дополняют результаты работы^{/8/}. Впервые приводятся данные о гамма-лучах. Получены сведения об энергиях и интенсивностях 200 переходов, из которых 130 наблюдались впервые. Проведены исследования гамма-гамма-совпадений с 22 гамма-линиями.

Определены мультипольности большинства гамма-переходов.

На основе всей совокупности экспериментальных данных пред-

лагается схема распада $^{175}\text{Ta} \rightarrow ^{175}\text{Hf}$, представленная в двух частях на рис. 2а и 2б. В ней размещено большинство наблюдаемых переходов. На основании настоящих исследований дополнительно введено 23 уровня ^{175}Hf .

Определены вероятности заселения уровней ^{175}Hf бета-распадом ^{175}Ta и соответствующие значения $\log ft$.

Для всех состояний определены квантовые характеристики, проводится их интерпретация.

Сделанные заключения о природе уровней находятся для ряда случаев в качественном согласии с результатами расчетов Малова и др.^{/9/}, проведенных в рамках сверхтекучей модели ядра с учетом взаимодействия фонон-частица.

1. Подтверждены и уточнены данные об уровнях полос $5/2^{-}$ [512], $1/2^{-}$ [521] и $7/2^{-}$ [514] и состояния $7/2^{+}$ [633], приведенные в более ранней работе^{/8/}.

2. Идентифицированы уровни полос состояний с положительной четностью $7/2^{+}$ [633], (207,4 кэв), $9/2^{+}$ [624] (644 кэв) и $5/2^{+}$ [642] (732 кэв). Между уровнями этих полос наблюдается сильное взаимодействие одночастичного и вращательного движения (взаимодействие Кориолиса), которое является характерным для уровней сферической оболочке $i 13/2$. Для матричного элемента взаимодействия Кориолиса полос $7/2^{+}$ [633] и $9/2^{+}$ [624] при использовании метода Кермана получено значение:

$\langle 7/2^{+} | j - | 9/2^{+} \rangle = 3,6$ при предположении, что параметр инерции обеих полос $\frac{\hbar^2}{2J} = 10,4$ кэв. Экспериментальное положение трех полос качественно согласуется с расчетами Пятова и Чернея^{/10/}, проведенными с помощью метода учета взаимодействия одночастичного и вращательного движения в рамках модели Кермана с включением парных корреляций.

01

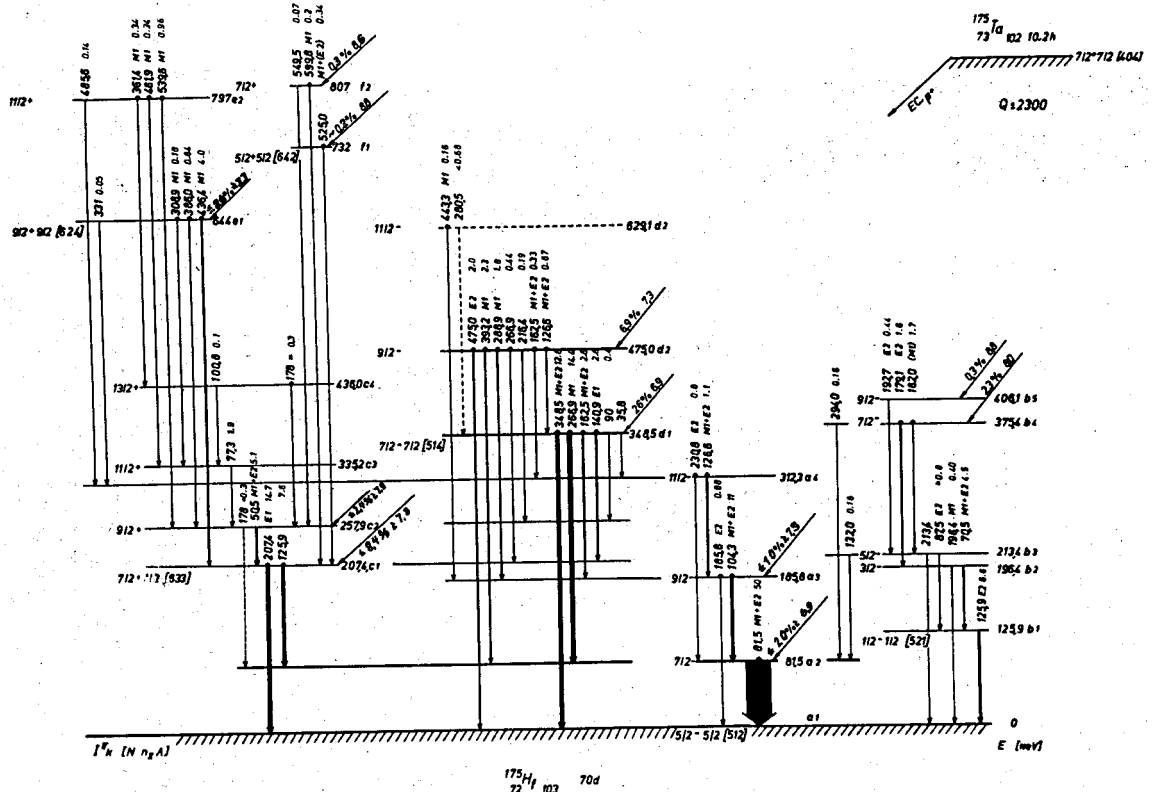


Рис. 2а. Низкоэнергетическая часть схемы распада $^{175}\text{Ta} \rightarrow ^{175}\text{Hf}$ обозначение совпадений.

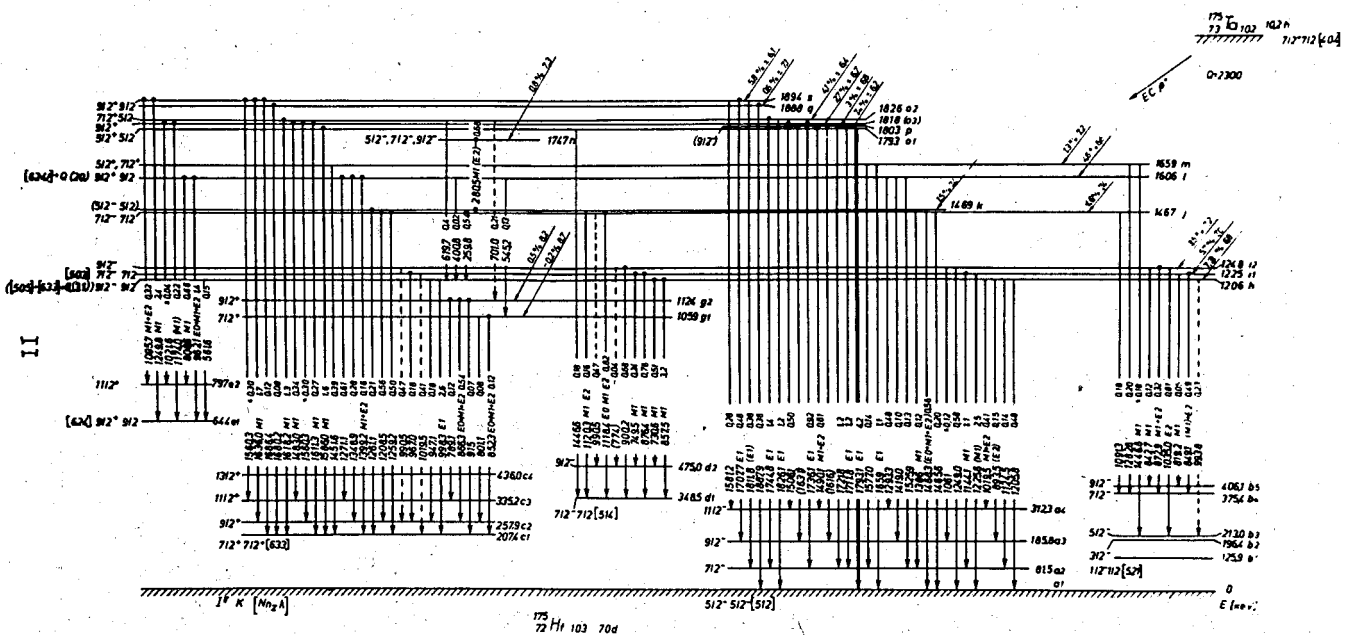
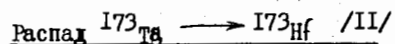


Рис. 2б. Высокоэнергетическая часть схемы распада $^{175}\text{Ta} \rightarrow ^{175}\text{Hf}$ обозначение совпадений.

2. Получены сведения о существовании бета-вибрационных компонент для четырех состояний: $633\uparrow + Q(20)$ (1059 кэв), $514\downarrow + Q(20)$ (1466 кэв), $624\uparrow + Q(20)$ (1606 кэв) и $512\uparrow + Q(20)$ (1469 кэв).

3. Ряд уровней в области энергий $\approx 1,8$ Мэв характеризуется низкими значениями $\log ft$ соответствующих бета-переходов. Это свидетельствует о наличии бета-переходов типа $'au'$ $p514\uparrow \rightarrow n514\downarrow$ с образованием членов трехквартичного мультиплета $5/2^+$ [$p404\downarrow - p514\uparrow + n514\downarrow$] (1793 кэв) и $9/2^+$ [$p404\downarrow + p514\uparrow - n514\downarrow$] (1894 кэв).

4. Идентифицированы состояния, которые можно отнести к возбуждениям с вкладом одночастичных компонент $9/2^-$ [505] (1206 кэв) и $7/2^-$ [503] (1226 кэв). В состоянии с $E = 1206$ кэв возможно присутствие коллективной компоненты $633\uparrow + Q(31)$.



В пятой главе приводятся результаты исследования распада $^{173}\text{Ta} \rightarrow ^{173}\text{Hf}$.

Изучены участки спектров конверсионных электронов в области энергий выше 650 кэв. Дополнены данные работы [12]. Получены впервые данные о гамма-лучах ^{173}Ta . Приводятся сведения об энергиях и относительных интенсивностях гамма-лучей и конверсионных электронов свыше 100 переходов, многие из них (60) наблюдались впервые. Приводятся результаты исследований спектров быстрых гамма-гамма-совпадений с 6 гамма-линиями, а также гамма-гамма-совпадений с Kx -лучами и квантами γ_{90} . Проведены измерения тройных $\beta^+ - \gamma$ -совпадений.

Обнаружены два изомерных состояния в ^{173}Hf и определены их времена жизни: $T_{1/2} \approx 170$ нсек для состояния 197,3 кэв и $T_{1/2} = 180 \pm 8$ нсек для состояния 107,2 кэв. Определены мультипольности ряда гамма-переходов.

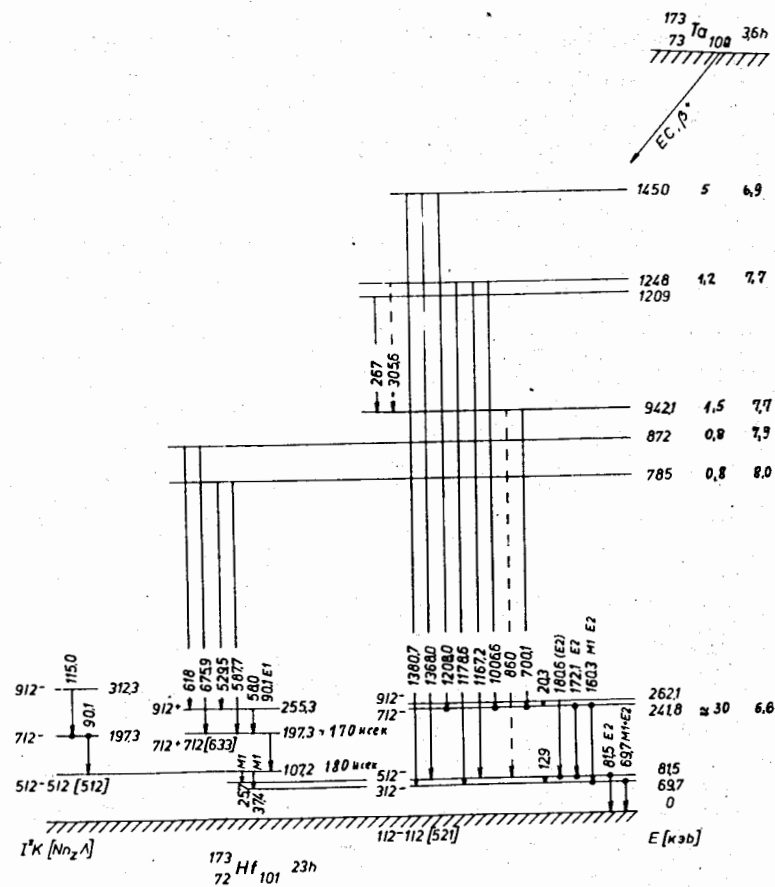


Рис. 3. Схема распада $^{173}\text{Ta} \rightarrow ^{173}\text{Hf}$. \downarrow - обозначение совпадений.

На основании совокупности всех экспериментальных данных предлагается схема распада $^{173}\text{Ta} \rightarrow ^{173}\text{Hf}$ (рис. 3), которая дополнена рядом новых уровней. Результаты нашей работы противоречат введению уровней 165,2 и 694,8 кэВ, как это сделано в работе /12/.

Уточнены и подтверждены имеющиеся данные об уровнях полос состояний $1/2^- [521]$ (основное состояние) и $5/2^- [512]$ (107,2 кэВ) /12/. Идентифицировано состояние $7/2^+ [633]$ (197,3 кэВ).

Полученные данные о бета-распаде ^{173}Ta позволяют сделать вывод, что в отличие от других изотопов тантала с четным числом нейтронов, спин состояния ^{173}Ta с $T_{1/2} = 3,6$ часа не равен $7/2$ (орбиталь $7/2^+ [404]$).

Основные результаты исследований, изложенные в диссертации, были доложены на VIII-XXI ежегодных всесоюзных совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, с 1968 по 1971 г. и на Международном симпозиуме по структуре ядра, 1968 г. Дубна, на совещании по нейтрондефицитным изотопам, 1969 г. Дубна, а также опубликованы в печати /1, 7, 11/.

Литература

1. Р. Брода, В. Валюс, И. Звольски, И. Молнар, Н. Ненов, Э.З. Рындина, У.М. Файнер, П. Шомев. Препринт ОИЯИ, Р6-5094, Дубна, 1970. Изв. АН СССР, сер. физ., т. XXXV, №4, 1971.
2. H.G. Boddendijk, S. Idzenga, G. Kleimeer and H. Verheul. Nucl. Phys., A 134, 442 (1969).
3. H.M.H. Abou-Leila, R. Ceuleneer et J. Vanhorenbeeck. Nucl. Phys., A 115, 635 (1968).
4. А.А. Кулиев, Н.И. Пятов. Препринт ОИЯИ, Р4-3576, Дубна, 1967.

5. S.T. Belyaev. Proceedings, Ser. Nucl. Structure, Dubna Symp. 1968, v.1, p. 155, IAEA, Vienna, 1968.
6. S.I. Gabrakov, A.A. Kuliev, N.I. Pyatov. Preprint, E4-4774, Dubna, 1969, Preprint, E4-4908, Dubna, 1970.
7. В. Гаджиков, И. Звольски, И. Молнар, Н. Ненов. Препринт ОИЯИ, Р6-5434, Дубна, 1970.
8. V. Hargatz, T.H. Handley, I.W. Mihelich, Phys. Rev., 114, 1082 (1959), 119, 1345 (1960).
9. Л.А. Малов, В.Г. Соловьев, С.И. Федотов. Препринт ОИЯИ, Р4-5228, Дубна, 1970.
10. Н.И. Пятов, М.И. Черней. Препринт ОИЯИ, Р4-4966, Дубна, 1970.
11. Б. Бочев, Р. Брода, И. Звольски, И. Молнар, Н. Ненов. Сообщения ОИЯИ, Р6-5704, Дубна, 1971.
12. V. Hargatz and T.H. Handley. Nucl. Phys., A 121, 481 (1968).

Рукопись поступила в издательский отдел
18 мая 1971 года.