

Г-13

1/III-71

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

573/2-71

P6 - 5434



В. Гаджоков, И. Звольски, И. Молнар, Н. Ненов

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

ИССЛЕДОВАНИЕ
ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ ^{175}Hf
ПРИ РАСПАДЕ ^{175}Ta

1970

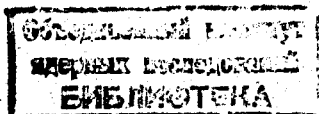
P6 - 5434

В. Гаджоков, И. Звольски*, И. Молнар, Н. Ненов

ИССЛЕДОВАНИЕ
ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ ^{175}Hf
ПРИ РАСПАДЕ ^{175}Ta

Направлено в "Z. für Physik"

* Институт ядерных исследований Чехословацкой академии наук,
Ржеж, ЧССР.



Изучению уровней ^{175}Hf , посвящены работы ^{/1-5/}. Фалером и Расмуссеном ^{/1/} впервые даны сведения о конверсионных электронах ^{175}Ta , которые были существенным образом пополнены Харматцем и др. ^{/2/}. В ^{/1/} приводятся также результаты изучения гамма-лучей ^{175}Ta с помощью сцинтилляционного детектора. Схема уровней ^{175}Hf была предложена Харматцем и др. ^{/2/}. На основе гамма-гамма-совпадений с применением сцинтилляционных детекторов Стал и Пул ^{/3/} предложили ввести в эту схему 5 новых состояний. В реакции $^{177}\text{Hf}(\gamma, 2n)^{175}\text{Hf}$ Бренди и др. ^{/4/} обнаружили при энергии 126 кэВ изомерный уровень с $T_{1/2} = 49$ мксек. Лобнером и Малмскогом ^{/5/} было определено время жизни состояния 207,4 кэВ ($T_{1/2} = 2,1-2,6$ нсек).

Настоящая работа посвящена изучению возбужденных уровней ^{175}Hf , возникающих при распаде ^{175}Ta . Нами исследовались спектры конверсионных электронов, спектры гамма-лучей и гамма-гамма-совпадений. На основе экспериментальных данных предлагается схема распада $^{175}\text{Ta} \rightarrow ^{175}\text{Hf}$, в которую введено 23 новых уровня. Полученные сведения о состояниях ^{175}Hf сопоставляются с результатом расчётов, проведенных в рамках сверхтекучей модели ядра на базе потенциала Саксона-Вудса с учётом мультипольных взаимодействий ^{/6/}. Предварительные данные о наших исследованиях были опубликованы в ^{/7-10/}.

1. Условия эксперимента

В настоящей работе были использованы два типа источников ^{175}Ta :

- а) фракция тантала, выделенная из золота, облученного протонами с энергией 660 Мэв на синхротроне ОИЯИ;
- б) препарат ^{175}Ta , полученный при облучении окиси тербия ионами ^{20}Ne с энергией 90 Мэв на циклотроне многозарядных ионов У-300 ОИЯИ.

Химическое выделение тантала на облученных мишенях и способ приготовления источников описаны в работе ^{/11/}. К началу измерений в источниках первого типа присутствовали, кроме ^{175}Ta (40%), также ^{176}Ta ($\approx 60\%$) и небольшое количество ^{178}Ta и ^{177}Ta . Источники второго типа представляли практически чистую активность ^{175}Ta с небольшой примесью ($\approx 5\%$) ^{176}Ta .

Источники первого типа использовались в основном для изучения конверсионных электронов, а второго типа — для изучения γ -лучей.

Конверсионные электроны исследовались с помощью бета-спектрометра типа $2 \times \pi\sqrt{2}/12/$, обладающего низким фоном. Реальное разрешение на электронных линиях > 700 кэв составляло $0,2 \pm 0,3\%$.

Для исследования гамма-лучей и гамма-гамма-совпадений применялись Ge(Li) -детекторы с чувствительным объемом 6, 10 и 30 см^3 . Разрешение на линиях ^{60}Co составляло 4 ± 6 кэв. Спектрометр совпадений работал с двухмерным анализатором с программным выбором окон, основанным на базе ЭВМ "Минск-2" ^{/13/}.

2. Экспериментальные результаты

Полученные данные об энергиях и относительных интенсивностях гамма-излучения ^{175}Ta приведены в табл. 1.

Обработка гамма-спектров проводилась на ЭВМ "Минск-2" по программе "КАТОК", описанной в работе Гаджокова ^{/14/}. Для энергетической калибровки использовались гамма-линии изотопов ⁵⁴Mn, ⁵⁶Co, ⁶⁰Co, ⁸⁸Y, ¹³⁷Cs и ¹⁷⁶Ta ^{/15/}. При помощи ЭВМ по калибровочным точкам проводилась градуировочная кривая, которая описывается полиномами Чебышева. Для определения эффективности регистрации гамма-лучей применялись изотопы ⁵⁶Co, ¹⁶⁹Yb, ²²⁶Ra.

Нами исследовались конверсионные электроны ¹⁷⁵Ta в области энергий > 800 кэВ. Для проверки и сопоставления с данными работы ^{/2/} в более низкой области энергий были сняты К-конверсионные линии переходов 266,9; 348,5 и 436,4 кэВ. Результаты измерений приводятся в табл. 1. В области > 800 кэВ они существенно пополняют данные работы ^{/2/}. Информация об относительных интенсивностях конверсионных электронов, имеющаяся в ^{/2/}, не противоречит в пределах погрешностей измерений нашим данным, за исключением линии К 1488.

При вычислении значений КВК для переходов энергий > 800 кэВ были использованы данные настоящей работы об интенсивностях гамма-лучей и конверсионных электронов. Для переходов с энергиями < 800 кэВ мы воспользовались также данными о конверсионных электронах работы ^{/2/}. Значения α_K были определены в предположении, что мультипольности переходов 207,4; 266,9 и 1793,2 кэВ - типа E1 ^{/2/}, M1 ^{/2/} и E1 соответственно. Результаты приводятся в табл. 1. Отметим, что для многих переходов с наиболее низкими энергиями (< 270 кэВ) мультипольности были определены в работе ^{/2/} по отношениям K/L_I , $|L_{II}|/L_{III}$.

В настоящей работе были изучены спектры совпадений с 22 гамма-линиями. Измерения проводились с двумя Ge(Li) - детекторами с чувствительным объемом по 10 см^3 в области энергий 50-900 кэВ и с объемом по 30 см^3 в области энергий 100-2000 кэВ. Результаты приведены в табл. 2. Кроме экспериментальных интенсивностей совпадений, в табл. 2 даны значения, рассчитанные по схеме распада, изображенной на рис. 1.

Следует отметить, что наши данные противоречат предположению о существовании уровней 522,0 и 1045,5 кэВ, введенных в ^{12/}, и, за исключением состояния 1208 кэВ, также предположениям работы ^{13/}.

3. Обсуждение схемы распада ¹⁷⁵Ta — ¹⁷⁵Hf

На основе всей совокупности экспериментальных данных была построена схема распада ¹⁷⁵Ta, изображенная на рис. 1. В ней размещено большинство наблюдавшихся переходов. Интенсивность не размещенных в схему переходов составляет ≈ 10% на распад.

За 100% принята сумма интенсивностей переходов, идущих на основное состояние (рис. 1). Существование большинства введенных уровней ¹⁷⁵Hf подтверждено опытами по совпадениям.

Указанные в схеме значения $\log ft$ для бета-переходов были вычислены в предположении, что разность масс ¹⁷⁵Ta и ¹⁷⁵Hf равна 2300 кэВ ^{16/}. Такое предположение не противоречит экспериментальному значению интенсивности аннигиляционного излучения $I_{\gamma \pm} \approx 30$ (см. табл. 1). Действительно, принимая во внимание экспериментальные интенсивности заселения уровней с энергиями ниже 1 МэВ и теоретические отношения вероятностей K / β_{\pm} для разрешенных бета-переходов, для разности масс 2300 кэВ мы получаем значение $I_{\gamma \pm} \approx 40 + 80$ (в единицах табл. 1).

Для большинства уровней ¹⁷⁵Hf были определены квантовые характеристики. Наиболее низкие значения $\log ft$ наблюдаются для бета-распада на состояния ¹⁷⁵Hf со спинами 5/2, 7/2 и 9/2. Этот факт служит аргументом в пользу предположения, что 73-й протон ядра ¹⁷⁵Ta в основном состоянии характеризуется орбиталью 7/2⁺/404/, как и следует ожидать из схемы уровней Нильссона, а также по аналогии с остальными изотопами тантала с более высокими массовыми числами.

В схеме, изображенной на рис. 1, дана также предполагаемая интерпретация некоторых состояний. В табл. 3 сопоставляются экспериментальные результаты с расчётами уровней ^{175}Hf , проведенными в работе Малова и др.^{/6/} в рамках сверхтекучей модели ядра с учётом мультипольных взаимодействий. В качестве среднего поля использовался потенциал Саксона-Вудса.

Наиболее низкими состояниями с отрицательной чётностью в ядрах с 103 нейтронами являются орбитали $5/2^-/512/$, $1/2^-/521/$ и $7/2^-/514/$. Это следует из схемы Нильссона и для ядра ^{175}Hf согласуется с расчётами, проведенными в^{/6/} (табл. 3). В основном состоянии должна реализоваться орбиталь $5/2^-/512/$. Такие предсказания подтверждаются также экспериментальными исследованиями уровней ядер $^{173}\text{Yb}_{103}$ и $^{171}\text{Er}_{103}$.

Состояния $5/2^-/512/$ (0 кэВ), $1/2^-/521/$ (125,9 кэВ), $7/2^-/514/$ (348,3 кэВ) и соответствующие им ротационные уровни (рис. 1) в ^{175}Hf были впервые идентифицированы в работах^{/1,2/}. Наши данные подтверждают существование и интерпретацию этих уровней за исключением состояния 622,0 кэВ, которому в^{/2/} приписаны квантовые характеристики $11/2^-7/2/514/$. Согласно результатам наших опытов, переходы, разряжающие уровень 622,0 кэВ, следует разместить в другой части схемы. Возможно, что состояние $11/2^-7/2/514/$ реализуется при энергии 629 кэВ.

Аргументом в пользу интерпретации уровня 125,9 кэВ ($1/2^-/521/$) может служить также его время жизни $T_{1/2}$ (125,9 кэВ) = 49 мксек^{/4/}.

Наиболее низкими одночастичными состояниями с положительной чётностью в ядре ^{175}Hf будут, по-видимому, орбитали $7/2^+/633/$, $9/2^+/624/$ и $5/2^+/642/$ (см. табл. 3). Из этих состояний идентифицирован Харматцем и др.^{/2/} лишь уровень $7/2^+/633/$, реализующийся при энергии 207,4 кэВ. Наши данные позволяют ввести ротационную полосу состояния $7/2^+/633/$ с членами вплоть до $I = 13/2$ (рис. 1). Недавно нам стало известно об экспериментах по изучению уровней ^{175}Hf

в реакции $(\alpha, xn) / 17/$, проведенных в Институте ядерных исследований в Стокгольме. Положение уровней полосы состояния $7/2^+ / 633 /$ до $I = 13 / 2^+$ совпадает с результатами настоящей работы. На основе результатов настоящей работы было установлено существование уровней 644 ($9 / 2^+$) и 797 кэВ ($11 / 2^+$), которые, по всей вероятности, составляют ротационную полосу состояния $9/2^+ / 624 /$. Нами предположительно введены также слабо заселяющиеся уровни 732 и 807 кэВ с наиболее вероятными квантовыми характеристиками $5/2^+$ и $7/2^+$ соответственно, которые можно интерпретировать как члены полосы состояния $5/2^+ / 642 /$.

Рассматривая ротационные уровни, принадлежащие орбитали $633 \uparrow$, мы наблюдаем аномально малое значение параметра инерции $\frac{\hbar^2}{2J} = 5,6$. Напротив, для ротационной полосы состояния $9/2^+ / 624 /$ инерционный параметр на $\approx 20\%$ больше, чем наблюдается в соседних ядрах ($\frac{\hbar^2}{2J} = 14$). Такие аномалии можно объяснить, учитывая взаимодействие Кориолиса, т.к. орбитали $633 \uparrow$, $624 \uparrow$, а также $642 \uparrow$ являются состояниями сферической подболочки $i 13/2$. Известно, что между состояниями этой подболочки эффекты взаимодействия Кориолиса особенно сильны.

Если использовать метод Кермана для учёта взаимодействия Кориолиса между полосами $633 \uparrow$ и $624 \uparrow$ и предположить, что параметр инерции в обоих состояниях одинаков, то с параметрами $\frac{\hbar^2}{2J} = 10,4$ кэВ, $\langle 7/2 | j^2 | 9/2 \rangle = 3,6$ и $E_{9/2^+ / 624 /}^0 - E_{7/2^+ / 633 /}^0 = 394$ кэВ можно воспроизвести наблюдавшуюся в эксперименте последовательность энергий уровней обеих полос.

В последнее время был предложен метод учёта взаимодействия одночастичного и вращательного движений в рамках модели Кермана с учётом парных корреляций. При расчёте энергий уровней ротационных полос $633 \uparrow$, $624 \uparrow$ и $642 \uparrow$ в ядре ^{175}Hf этим методом $^{18/}$ использовалась одночастичная схема уровней в потенциале Саксона-Вудса. Учиты-

валось смешивание состояний подболочки $i 13/2$ с $K = 1/2 + 13/2$.

В гамильтониан было включено также центробежное взаимодействие частиц на смешиваемых уровнях. Эффекты блокировки учтены не были. На рис. 2 показаны результаты расчетов, полученные с параметрами

$\frac{\hbar^2}{2J} = 12,5$ кэв, $\Delta = 0,79$ Мэв, $\lambda = -5,73$ Мэв, где Δ - энергетическая щель, λ - химический потенциал.

На основе экспериментальных результатов настоящей работы можно сделать заключение, что при энергиях 1206, 1225 и, вероятно, также при 1248 кэв реализуются состояния с возможными квантовыми характеристиками $I^\pi = 7/2^-$ или $9/2^-$. Уровень 1226 кэв введен впервые в работе ^{12/} и интерпретирован как $9/2^- / 505 /$.

Все эти состояния заселяются бета-переходами со сравнительно низкими значениями приведенных периодов полураспада ($\log ft = 6,8; 7,0$ и $7,2$ соответственно).

Такие значения $\log ft$ могли бы в этой области энергий возбуждений принадлежать бета-распаду ^{176}Ta ($7/2^+ / 404 /$) на одночастичные состояния $7/2^- / 503 /$ и $9/2^- / 505 /$. Для выяснения наиболее вероятной интерпретации рассматриваемых уровней можно привлечь следующие факты: 1) наиболее интенсивная разрядка состояния 1206 кэв происходит на уровни $7/2^- / 514 /$ и $7/2^+ / 633 /$, а состояния 1225 кэв - на уровни полосы $5/2^- / 512 /$; 2) по расчетам ^{18/} к состоянию $9/2^- / 505 /$ должна быть примешана большая компонента октупольного состояния $633^+ + Q (31)$, способствующая разрядке на уровень $7/2^+ / 633 /$. Отсюда можно сделать вывод, что из возможных значений спина для состояния 1206 кэв более вероятным является значение $I = 9/2^-$, а для состояния 1225 кэв - $I = 7/2^-$.

Следует отметить, что если такая интерпретация правильна, уровень 1206 кэв должен содержать заметную компоненту $9/2^- / 505 /$.

Уровень 1248 кэв, введенный нами предположительно, по способу разрядки похож на состояние 1225 кэв ($7/2^-$). Можно было бы предположить, что оба уровня составляют ротационную полосу. Однако в таком случае не объясненным остается аномально малое значение параметра инерции $\frac{\hbar^2}{2J} = 2,1$ кэв.

Способ разрядки и мультипольности соответствующих переходов позволяют приписать уровню 1793 кэв квантовые характеристики $I^\pi = 5/2^+$, а уровню 1894 кэв - $I^\pi = 9/2^+$. Среди высоколежащих состояний они отличаются низкими значениями $\log ft$. Значения $\log ft \leq 6,2$ для бета-перехода на уровень 1793 кэв ($5/2^+$) и $\leq 6,1$ на уровень 1894 кэв ($9/2^+$) могут свидетельствовать о том, что осуществляется бета-переход $p 514 \uparrow \xrightarrow{au} n 514 \uparrow$, приводящий к трехквaziчастичным возбуждениям $5/2^+ \{ p 404 \downarrow - p 514 \uparrow + n 514 \downarrow \}$ и $9/2^+ \{ p 404 \downarrow + p 514 \uparrow - n 514 \downarrow \}$. Разрядка таких состояний без нарушения правил отбора возможна только в случае уровня с $K^\pi = 5/2^+$ на состояние $7/2^- / 514 /$. Такой переход со сравнительно малой интенсивностью на опыте и наблюдается. Интенсивные гамма-переходы на остальные низколежащие уровни указывают на присутствие других компонент в обоих рассматриваемых состояниях. Так, например, интенсивная разрядка уровня 1793 кэв ($5/2^+$) на основное состояние ($5/2^- / 512 /$) и состояние $7/2^+ / 633 /$ могла бы свидетельствовать о присутствии других компонент.

Сравнительно малыми значениями $\log ft$ характеризуются также бета-переходы на уровни 1818 кэв, $I^\pi = 9/2^+$ ($\log ft < 6,7$), и 1826 кэв, $I^\pi = 7/2^+$ ($\log ft < 6,4$). По-видимому, состояние 1826 кэв ($7/2^+$) принадлежит к ротационной полосе уровня 1793 кэв ($5/2^+$). Аргументом в пользу такого предположения может служить и аналогичная разрядка обоих состояний.

Среди переходов, возникающих при распаде ^{175}Ta , переходы $\gamma 853,3$; $\gamma 866,3$; $\gamma 962,1$; $\gamma 1118,4$ и $\gamma 1468,3$ отличаются большими значениями КВК (см. табл. 1). Они разряжают уровни с энергиями 1059, 1124,

1467, 1469 и 1606 кэв (рис. 1). Так как нет причины думать, что эти уровни разряжаются переходами с мультипольностями $M2$ и выше, мы сделали предположение, что эти переходы типа $E0 + M1 + E2$. Известно, что $(E0 + M1 + E2)$ - переходы наблюдаются в нечётных ядрах при разрядке вибронных состояний с квадрупольным фоном типа $Q(20)$. Таким же образом мы интерпретировали и соответствующие уровни в ^{175}Hf . Отметим, что в соседнем чётно-чётном ядре ^{174}Hf состояния с $K^\pi = 0^+$ реализуются при энергии 827 кэв $^{20/}$. В этой интерпретации уровни 1059 ($7/2^+$) и 1124 кэв ($9/2^+$) являются членами ротационной полосы состояния $633 \uparrow + Q(20)$, уровни 1467 ($7/2^-$) и 1469 кэв ($5/2^-$) соответствуют состояниям $514 \downarrow + Q(20)$ и $512 \uparrow + Q(20)$, а уровень 1606 кэв ($9/2^+$) имеет свойства состояния $624 \uparrow + Q(20)$.

Следует отметить, что значение $\log ft = 6,7$, которое наблюдается для бета-перехода на уровень 1606 кэв ($9/2^+$), интерпретированный как состояние $624 \uparrow + Q(20)$, намного меньше, чем значение, найденное для бета-перехода на уровень 644 кэв $9/2^+/624/(\log ft \leq 8,3)$. Такая аномалия могла бы быть вызвана присутствием вышерассмотренной трехквaziчастичной компоненты с $K^\pi = 9/2^+$. Интересно также отметить, что разрядки состояний 1894 и 1606 кэв на все уровни в более низкой области энергий похожи друг на друга.

Авторы выражают свою благодарность К.Я. Громову за постоянную поддержку при проведении настоящей работы, М. Чернею за проведение расчётов для взаимодействия Кориолиса, С.И. Федотову и Н.И. Пятову за полезные замечания и дискуссию. Авторы весьма благодарны М. Неновой за большую помощь при обработке экспериментальных данных.

Литература

1. K.T. Faler and J.O. Rasmussen. *Phys.Rev.*, 118, 265 (1960).
2. В. Harmatz, T.H. Handley and J.W. Mihelich. *Phys.Rev.*, 119, 1345 (1960).
3. G.F. Staehl, M.L. Pool. *Bull.Am.Phys.Soc.*, 9, 7, 718 (1964).
4. K. Brandi, R. Engelmann, V. Hepp, E. Kluge. Krehbiel and U. Meyer-Berkhout. *Nucl.Phys.*, 59, 33 (1964).
5. K.E.G. Lobner, S.G. Malmskog. *Nucl.Phys.*, 80, 505 (1966).
6. Л.А. Малов, В.Г. Соловьев, С.И. Федотов. Препринт ОИЯИ, Р4-5228, Дубна, 1970.
7. И. Звольски, И. Молнар, Н. Ненов, Б. Стычень, И. Томик, В.И. Фоминых. Тезисы докладов на XVII совещании по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Рига, 1968 г., стр. 87.
8. W.I. Fominikh, J. Molnar, N. Nenoff, B. Styczen, J. Zvolsky. *Contr. of Inter. Symp. on Nucl. Struc. Dubna*, 1968, p.46.
9. И. Звольски, И. Молнар, Н. Ненов, В. Фоминых, В. Цупко-Ситников, В. Тишин. Тезисы докладов на XIX совещании по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Ереван, 1969 г., стр. 125.
10. И. Звольски, И. Молнар, Н. Ненов, Э.З. Рындина, С. Станчев, Н. Станчева. Тезисы докладов на XX совещании по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Ленинград, 1970 г., стр. 141.
11. Р. Брода, В. Валюс, И. Звольски, И. Молнар, Н. Ненов, Э.З. Рындина, М. Файнер, П. Шошев. Препринт ОИЯИ, Р6-5094, Дубна, 1970.
12. С.А. Шестопалова. *Изв. АН СССР, сер. физ.*, 25, 1032 (1961).
13. В.С. Александров, Ф. Дуда, О.И. Елизаров и др. Препринт ОИЯИ 13-4025, Дубна, 1968.
14. В. Гаджоков. Препринт ОИЯИ, Р10-5035, Дубна, 1970.
15. F.M. Bernthal. Thesis, California, Univ., Berkeley, Lawrence Rad. Lab. (UCRL - 18651), 1969.

16. P.A. Seeger. Nucl. Phys., 25, 1 (1961).
17. H. Ryde. Private communication.
18. Н.И. Пятов, М.И. Черней. Препринт ОИЯИ, Р4-4966, Дубна, 1970.

Рукопись поступила в издательский отдел

27 октября 1970 года.

Таблица I

Энергия переходов и относительные интенсивности К-конверсионных электронов и гамма-лучей, возникающих при распаде ^{175}Ta

Энергия переходов E_{γ} (кэВ) ($4E_{\gamma}$)	Относительные интенсивности		КВК α_K	Принятая мультипольность	$I_{\text{пол}}$ %, на распад	Размещ. в схеме
	$I_K (\Delta I_K)$	$I_{\gamma} (\Delta I_{\gamma})$				
1	2	3	4	5	6	7
35,8 а)						d1-a4
50,5 а)	б)			M1+E2 б)	5,1	c2-c1
K α		3000 (500)				
70,5 а)	б)			M1+E2 б)	4,5	b2-b1
77,3 а)	б)				1,9	c3-c2
81,5 а)	б)	150 (25)		M1+E2 б)	50	a2-a1
87,5 а)	2,5 а)	<22 д)	>1,1 (-1)	E2 б)	0,8	b3-b1
90,0 (9)		10 (3)			0,4	d1-c2
100,8 а)	б)				0,1	c4-c3
104,4 а)	б)	78 (10)		M1+E2 б)	11	a3-a2
125,9 а)	55 а)	65 (20)		E2 б)	6,6	b1-a1
125,9 а)		145 (30) г)		E1	7,6	c1-a2
126,6 а)	21,5 а)	9 (3) г)	1,3 (0)	M1+E2 б)	1,1	a4-a3
126,6 а)		7 (3) г)		M1+E2 б)	0,87	d2-d1
132,0 а)	<3,3 а)				0,16	b3-a2
140,9 а)	4,5 а)	58 (7)	7,7 (-2)	E1	2,6	d1-c1
162,0 а)	4,0 а)	21 (11)	1,9 (-1)	(M1+E2)	1,7	b4-b3
162,5 а)	24 а)	37 (7) г)	5,8 (-1)	M1+E2	2,8	d1-a3
162,5 а)		4,3 (8) г)				
178 (1)		7 (1)			0,25	c4-c2
179,1 а)	5,0 а)	32 (5)	1,6 (-1)	E2 б)	1,6	(c2-a1)
185,8 а)	4,5 а)	16 (2)	2,8 (-1)	E2 б)	0,88	b4-b2
						a3-a1

Продолжение табл. I

1	2	3	4	5	6	7
192,7 а)	2,0 а)	9,1 (1,3)	2,2 (-1)	E2 B)	0,44	b5-b3
196,4 а)	4,3 а)	4,0 (1,0)	1,1 (0)	M1	0,40	b2-a1
207,4 а)	16,5 а)	350 (20)	4,7 (-2)	E1 B)	14,7	c1-a1
213,4 а)	≤1 а)	<2			0,1	b3-a1
216,4		4,7 (6)			0,19	d2-c2
230,8 а)	2,0 а)	17,6 (1,0)	1,1 (-1)	E2 B)	0,8	a4-a2
(256)		2 (1)			0,08	
259,8		13,4 (3,4)			0,54	j -h
266,9 а)	54 а)	270 (32)	2,0 (-1)	M1	14,4	d1-a2
266,9 а)		11 (4) Γ)				
(275)		≈ 1,2			0,05	
280,5 а)	2,3 а)	14,1 (1,0)	1,6 (-1)	M1+(E2)	0,68	n -j
288,9 а)	6,7 а)	37 (4)	1,8 (-1)	M1	1,8	d2-a3
294,0 а)	<0,3 а)	4 (1)	<7,5 (-2)		0,16	b4-a2
308,9 а)	0,65а)	3,6 (1,2)	1,8 (-1)	M1	0,18	e1-c3
331,1 (6)		1,4 (6)			0,05	e1-a4
348,5	21 а)	300 (15)	7,0 (-2)	M1+E2	12,8	d1-a1
357 (1)		0,8			0,03	
361,4 а)	0,85а)	7,6 (1,0)	1,1 (-1)	M1	0,34	e2-c4
365,7 а)	≈ 0,15а)	5,3 (1,5)	≈ 2,8 (-2)		0,22	
375 (1)		≈ 0,3			0,01	
380 (1)		0,9 (7)			0,04	
386,0 а)	1,2 а)	14,9 (1,5)	8,0 (-2)	M1	0,64	e1-c2
393,2 а)	4,3 а)	53 (4)	8,1 (-2)	M1	2,3	d2-a2
400,8 (1,3)		0,6 (6)			0,02	1 -h
404,1 а)	0,9 а)	0,5	1,8 (0) ?		0,02	
432,8 а)	0,44а)	1,3 (5)	3,4 (-1)		0,05	

1	2	3	4	5	6	7
436,4 a)	5,5 a)	95 (5)	5,8 (-2)	M1	4,0	e1-c1
443,3 a)	≈ 0,3 a)	3,6 (9)	≈ 8,3 (-2)	M1	0,16	d3-a3
448,4		0,4 (3)			0,02	
450,5 a)	цл.	1,5 (9)			0,06	
461,9 a)	0,2 a)	5,8 (1,1)	3,4 (-2)	M1+E2	0,24	e2-c2
467,4 (7)		1,2 (5)			0,05	
470,6 (5)		4,2 (5)			0,17	
475,0 a)	0,95 a)	51 (5)	1,9 (-2)	E2	2,0	d2-a1
481,8 (7)		1,5 (5)			0,06	
485,6 (6)		3,5 (9)			0,14	e2-a4
502,0 (8)		3,2 (1,0)			0,13	
$\gamma \pm$		≤ 30			≤ 1,2	
525,0 (4)	≈ 0,24 a)	8,4 (1,4)	≈ 2,8 (-2)	M1+(E2)	0,34	f1-c1
533,0 (4)	0,14 a)	5,2 (9)	2,7 (-2)		0,21	
539,6 (3)	0,76 a)	24 (3)	3,2 (-2)	M1	0,96	e2-c2
545,2 (5)		3,2 (7)			0,13	1 -g1
549,5 (8)		1,8 (8)			0,07	f2-c2
561,6 (4)		3,7 (9)			0,15	h -e1
568,4 (9)		1,5 (5)			0,06	
572,2 (4)		5,0 (9)			0,20	
588,3 (6)		3,0 (9)			0,12	
591,8 (8)		1,1 (8)			0,04	
599,8 (4)	≈ 0,14 a)	5,7 (1,1)	≈ 2,4 (-2)	M1	0,23	f2-c1
609,3 (9)		4,1 (2,0)			0,16	
619,7 (4)	цл. a)	11,2 (2,2)			0,44	o2-h (h1-d3)
661,4 (4)		2,8 (1,4)			0,11	
676,2 (5)		2,2 (1,1)			0,09	
697,5 (9)		6,0 (3,4)			0,24	

1	2	3	4	5	6	7
701,0 (7)		5,2 (3,1)			0,21	o2-g2
720,1 (5)		0,6 (6)			0,02	
730,6 (4)	0,21 ^a)	12,8 (1,6)	1,6 (-2)	M1	0,59	h -d2
739,4 (4)		4,7 (1,0)			0,19	
749,5 (4)	0,12 ^a)	6,0 (1,1)	2,0 (-2)	M1	0,2	i1-d2
(759) (1)		3 (1)			0,12	i2-d2
(774) (1)		≈1			≈0,04	i2-d2
776,3 (7)		3,3 (9)			0,13	
784,0 (5)		6,5 (1,6)			0,26	
789,1 (9)		3,1 (1,1)			0,12	g2-c3
801,1 (1,0)		2,1 (1,1)			0,08	g1-c2
808,6 (4)	0,19 (5)	16,4 (2,2)	1,1 (-2)	M1	0,66	1 -e2
812,0 (9)	0,05 (1)	2,0 (8)	2,5 (-2)		0,08	
819,2 (1,1)	0,025(4)	1,2 (9)	2,1 (-2)	M1	0,05	i1-b5
842,7 (6)	0,05 (2)	3,1 (1,6)	1,6 (-2)	M1	0,12	i2-b5
849,1 (4)	0,05 (1)	12,2 (1,5)	4,1 (-3)	E2+(M1)	0,49	i1-b4
852,3 (6)	0,13 (2)	3,0 (2,2)	4,3 (-2)	EO+M1+E2	0,12	g1-c1
857,7 (3)	1,0 (2)	80 (7)	1,2 (-2)	M1	3,2	h -d1
866,3 (4)	0,5 (1)	13,5 (1,4)	3,7 (-2)	EO+M1+E2	0,54	g2-c2
872,9 (5)	0,06 (2)	7,9 (1,1)	7,6 (-3)	M1+E2	0,32	i2-b4
876,4 (4)	0,20 (4)	18,9 (2,1)	1,0 (-2)	M1	0,76	i1-d1
887,2 (7)		3,3 (1,7)			0,13	
893,5 (7)	0,04 (2)	3,8 (1,2)	1,0 (-2)	M1	0,15	h -a4
900,2 (4)	0,20 (4)	16,9 (2,4)	1,2 (-2)	M1	0,68	i2-d1
915,8 (7)		1,7 (1,1)			0,07	g2-c1
925,2 (7)		2,9 (1,0)			0,12	m -f1
933,8 (1,1)		1,6 (1,8)			0,06	

1	2	3	4	5	6	7
937,9 (6)		3,8 (1,8)			0,15	
947,1 (1,1)	} 0,03 (1)	4,7 (3,0)	} 3,2 (-3)		0,17	h -c2
949,0 (1,2)		4,7 (3,0)			0,17	
959,4 (9)	} 1,2 (2)	6,3 (3,5)	} 2,8 (-2)	E0+M1+E2	0,25	
962,1 (4)		36 (5)				1,4
967,0 (1,2)		4,7 (2,1)			0,18	(i1-c2)
985,8 (7)		5,9 (1,9)			0,24	
990,5 (5)	} 0,06 (2)	11,7 (2,3)	} 3,4 (-3)		0,47	{ (j -d2)
993,8 (9)		5,8 (1,9)			0,23	{ (h2-c2)
998,3 (4)	0,12 (2)	64 (7)	1,9 (-3)	E1	2,6	h -c1
1010,6 (4)	0,10 (2)	20,6 (2,5)	4,8 (-3)		0,82	
1019,5 (6)		10,3 (4,2)			0,41	{ (i1-c1)
1021,6 (8)		≤ 1			≤ 0,04	{ h -a3
1028,4 (4)	0,040(8)	10,6 (2,2)	3,8 (-3)		0,42	o3-e2
1035,0 (4)	0,09 (2)	20,2 (3,2)	4,5 (-3)	E2	0,81	12-b3
1051,9 (7)		11,6 (6,4)			0,46	
1053,4 (1,5)	0,05 (2)	3,8 (3,8)	1,3 (-2)		0,15	
1061,9 (1,1)		≤ 3			≤ 0,12	12-a3
1067,7 (1,6)		12,9 (6,3)			0,52	
1071,1 (7)		4,3 (1,9)			0,17	
1083,0 (8)		4,0 (1,8)			0,16	
1087,7 (1,1)	0,018(6)	2,9 (2,1)	6,2 (-3)	M1	0,12	q -o2
1091,3 (9)		4,6 (1,0)			0,18	j -b4
1095,7 (1,1)	0,06 (2)	8,0 (2,0)	7,5 (-3)	M1+E2	0,32	s -e2
1107,6 (5)	≤ 0,03 A)	10,1 (3,0)			0,40	
1114,4 (6)	≤ 0,05 A)	7,4 (1,2)			0,30	
1118,4 (5)	0,29 (4)	20,5 (4,9)	1,4 (-2)	E0+M1+E2	0,82	j -d1

Продолжение табл. I

1	2	3	4	5	6	7
1120,3 (1,5)	} 0,030(6)	4 (4)	} 3,9 (-3)	M1+E2	0,16	k -d1
1124,5 (7)		3,6 (9)			0,14	h -a2
1144,1 (5)	0,17 (3)	28 (8)	6,1 (-3)	M1	1,1	i1-a2
1171,8 (4)	0,08 (2)	11 (3)	7,3 (-3)	M1	0,44	
1174,0 (7)	0,04 (2)	5,5 (2,0)	7,2 (-3)	M1	0,22	o3-e1
1177,6 (9)		2 (2)			0,08	
1195,5 (6)	0,03 (1)	5,8 (2,1)	5,2 (-3)	M1	0,23	
1199,1 (1,1)		2,1 (1,1)			0,08	
1205,8 (6)	0,02 (1)	11,9 (3,5)	1,7 (-3)	(E2)	0,48	h -a1
1208,5 (7)	0,02 (1)	14,0 (3,1)	1,4 (-3)		0,56	j1-c2
1212,1 (9)	≤0,02	14,7 (3,2)	≤1,4 (-3)		0,59	(k -c2)
1225,6 (4)	≤0,2 A)	62 (9)	≤3,2 (-3)	(M1)	2,5	i1-a1
1231,0 (1,5)		2,6 (1,6)			0,1	
1240,5 (7)		3,0 (1,2)			0,12	
1249,0 (1,3)	} 0,36 (6)	14,6 (5,5)	} 4,8 (-3)	M1	0,58	i2-a1
1249,8 (5)		60 (15)			2,4	s -e1
1259,2 (8)	} ≤0,03 A)	12,4 (3,5)			0,50	j -c1
1261,1 (1,0)		5,2 (2,5)			0,21	k -c1
1271,1 (5)		15,3 (3,7)			0,61	l -c3
1279,3 (7)		6,8 (2,3)			0,27	
1282,8 (9)		5,1 (1,9)			0,20	m -b4
1293,3 (6)		11,1 (1,6)			0,44	l -a4
(1311,7)(1,1)	0,030(6)	4,0 (9)	7,5 (-3)		0,16	
1324,7 (1,0)	0,024(7)	5,6 (1,3)	4,3 (-3)		0,22	
1348,9 (1,0)		6,9 (3,1)			0,28	l -c2
1386 (1)	0,010(3)	3 (1)	3,3 (-3)	M1	0,12	j -a2
1399,2 (6)	0,017(3)	7,9 (6)	2,1 (-3)	M1+E2	0,16	l -c1

Продолжение табл. I

1	2	3	4	5	6	7
1419,0 (1,0)	$\leq 0,009$ А)	2,4 (1,0)	$\leq 3,7$ (-3)		0,10	1 -a3
1446,6 (7)	0,013(3)	4,4 (1,8)	3 (-3)		0,18	{(m -b3) o1-d1
1451,6 (5)		9,2 (2,2)			0,39	m -c1
1462,0 (6)		7,3 (1,8)			0,29	m -b2
1465,6 (1,3)	0,010(3)	5 (3)	2 (-3)	(M1)	0,20	j -a1
1468,3 (7)	0,050(8)	14,1 (4,1)	3,6 (-3)	(E0+M1+E2)	0,56	k -a1
1473,5 (8)		3,7 (1,8)			0,15	
1483,0 (4)	0,020(7)	8,4 (1,3)	2,4 (-3)	M1	0,34	o3-c3
1490,1 (5)	0,035(7)	20,2 (2,6)	1,7 (-3)	M1+E2	0,81	p -a4
1506,1 (1,3)		12,5 (2,6)			0,50	o3-a4
1516,1 (7)		9,0 (2,2)			0,36	
1525,9 (7)		3,3 (1,6)			0,13	1 -a2
1536,2 (6)	0,02 (1)	4,6 (1,4)	4,3 (-3)		0,18	
1544,1 (5)	0,04 (1)	6,7 (2,1)	6,0 (-3)		0,27	
1560,3 (6)	$\leq 0,02$ А)	7,5 (1,8)	$\leq 2,7$ (-3)		0,30	{o3-c2 s -c3
1577,0 (9)	} $\leq 0,015$ А)	3,6 (1,4)	} $\leq 2,9$ (-3)		0,14	m -a2
1578,6 (2,2)		1,6 (1,2)		0,06		
1581,2 (8)		≤ 7			$\leq 0,28$	s -a4
1586,0 (4)	$\approx 0,12$	40 (6)	3,0 (-3)	M1	1,6	o1-c1
1590,2 (1,3)		2,8 (1,4)			0,11	
1611,3 (6)	0,015(3)	6,7 (1,6)	2,2 (-3)	M1	0,27	o3-c1
1616 (1)		≈ 9			$\approx 0,36$	p -a3
1618,2 (6)	0,058(7)	33 (4)	1,8 (-3)	M1	1,3	o2-c1
1620,1 (6)		9,7 (4,0)			0,39	
1631,4 (6)		≈ 9 А)			$\approx 0,36$	o3-a3
1636,0 (4)	0,10 (2)	42 (6)	2,4 (-3)	M1	1,7	s -c2
(1641,8)(5)		≤ 3			$\leq 0,12$	
1650,0 (4)	0,008(3)	7,7 (1,8)	1,0 (-3)		0,31	

1	2	3	4	5	6	7
1659,2 (4)	0,022(8)	27 (3)	8,1 (-4)	E1	1,1	m -a1
1669,8 (5)	0,010(2)	3,6 (9)	2,8 (-3)		0,14	
1680,2 (5)		5,9 (1,5)			0,24	q -c1
1682,6 (1,2)		2,0 (7)			0,08	
1686,4 (4)		2,9			0,12	s -c1
(1695,3 (5))		≤ 6 Д)			≤ 0,24	
1707,7 (1,2)	} 0,030(5)	12 (3)	} 7,3 (-4)	E1	0,48	s -a3
1711,8 (4)		29 (4)		E1	1,0	o1-a2
1721,8 (4)	≤ 0,04 Д)	29 (4)	≤ 1,4 (-3)		1,2	p -a2
1733,1 (1,3)	≈ 0,01	1,5 (1,1)	≈ 7,7 (-3)		0,06	
1736,7 (4)	0,017(3)	23 (3)	7,4 (-4)	E1	0,92	o3-a2
1744,8 (5)	0,026(4)	34 (4)	7,6 (-4)	E1	1,4	o2-a2
1759,9 (7)		1,0 (6)			0,04	
1767,5 (4)	≈ 0,01	5,4 (1,2)			0,22	
1793,1 (3)	0,060(8)	115 (14)	5,2 (-4)	E1	4,6	o1-a1
1811,8 (6)	0,007(2)	9,4 (2,2)	7,4 (-4)	(E1)	0,38	s -a2
1826,1 (4)	0,015(4)	31 (5)	4,8 (-4)	E1	1,2	o2-a1
1836,0 (5)		1,8 (7)			0,07	
1849,3 (6)		1,5 (6)			0,06	
1880,8 (9)		1,5 (9)			0,06	
1887,9 (4)		9,4 (1,7)			0,38	q -a1
1891,8 (5)		7,7 (1,6)			0,31	

а) Значение заимствовано из работы /2/ .

б) Интенсивности конверсионных линий даны в работе /2/ .

в) Мультипольность определена в работе /2/ .

г) Интенсивность гамма-лучей определена по гамма-гамма-совпадениям.

д) Вместе с линией другой активности

Таблица 2

Данные по гамма-гамма-совпадениям при распаде ^{175}Tl

Заданный канал E_{γ} (кэВ)	E_{γ}	$I_{\gamma\gamma}$		E_{γ}	$I_{\gamma\gamma}$		E_{γ}	$I_{\gamma\gamma}$	
		эксп.	схема		эксп.	схема		эксп.	схема
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
81,5	104,3	7,5	9,3	436,4	5,7	3,8	1586,0	≈1	1,6
	126	17	19	857,7	3,6	5,3	1618,2	≈1	1,3
	140,9	2,1	2,3	962,1	1,1	1,5	1636,0	≈1	1,7
	162,5	3,7	4,7	1144,1	2,4	3,3	1707,5	} 3,5	4,8
	178	1,3	0,8	1249,8	} 3,0	3,1	1711,8		
	230,8	1,5	2,1	1260			1721,8	2,8	3,5
	266,9	27	32	1490,1	1,6	2,3	1736,7	2,2	2,7
	288,9	3,6	4,1	1577,0	1	0,4	1744,8	3,0	4,0
	393,2	5	6,3						
104,3	81,5	6,2	9,3	288,9	5,3	7,6	1616	1,8	1,8
	126,6	1,9	1,9	443,3	≈1	0,4	1632	2	1,8
	162,5	7,8	7,9	1490,1	3,5	2,5			
125,9 126,6	81,5	13,7	18,7	539,6	5,1	5,8	1208,5	} 5	3,4
	104,3	1,9	1,9	808,6	6,1	4,1	1212,1		
	140,9	13,3	15,6	857,7	2,9	2	1483,0	2	2
	162,5	1,3	1,3	866,4	2,6	3,3	1490,1	5	3,6
	266,9	3,9	5,7	962,1	8	8,7	1586,0	10	9,6
	308,9	1,3	0,9	998,3	18	17	1618	8,2	8,3
	361,4	2,5	1,8	1171,8	} 4,5	2,9	1636,0	12	10
	348,5	3	3	1174,0			1,4	1680,2	} 2,6
	386,0	4	3,6	1249,8	15	15	1682,6		
	436,4	25	25	1259,2	} 6	4,6	1686,4	} 1,5	0,7
	461,9	2	1,7	1261,1			1611,3		

Продолжение табл.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
140,9	81,5 125,9	3 15,7	2,3 15,6	207,4	30	36	857,7	5	5,7	
162,0 +162,5	81,5 104,3	5,7 8,2	5,1 7,9	185,8 857,7	2,7 3,1	2,3 3,7	849,1	2	3,4	
179,1 +178	386,0	0,5	0,8	539,6	0,5	1,2	849,1	30	36	
207,4	140,9	30	36	857,7	5,2	4,6	1249,8	37	37	
	280,5	4,5	6	866,4	4,5	7,8	1259,2	} 12	11	
	266,9	7,2	7,2	915	≈2	1,1	1261,1			
	308,9	1,5	2,1	962,1	19	22	1348,2	5	4	
	361,4	5,2	4,4	998,3	32	40	1483,0	3,4	4,9	
	386,0	8,5	8,6	1020	410	0,6	1560,2	5	4,4	
	436,4	62	59	1068	8	8,1	1586,0	25	25	
	461,9	3,2	3,4	1095,7	4,4	4,7	1611,2	3,8	4,2	
	525,0	4,4	5,9	1114,4	2,5	(4,6)	1618,2	15	21	
	539,6	12	14	1118,4	2,1	1,2	1636,0	23	24	
	599	4	3,6	1171,8	} 8,7	6,9	1680,2	} 7,4	(1,2)	3,7
	801,1	} 10	11	1174,0		3,4	1682,6			1,8
808,6	1208,5			} 7	8,1	1686,4				
852,3	2	1,9	1212		-	-	-	-	-	
230,5	1490,1	3,9	7	1506,1	3	4,4	1581	≈1	2,5	
266,9	81,5	26	32	876,4	9,5	6,8	1118,4	8,1	6,7	
	857,7	35	27	900,1	6	5,6				
280,6	1118,4	10	6							

Продолжение табл.2

1	2	3	4,	5	6	7	8	9	10
288,9	730,6	3,5	2,4	749,5	3	1,1	990,5	3,5	2,2
386,0	730,6	4	3,2	962,1	6	4,4	1249,8	9,2	7,9
+393,2	749,5	2,7	1,5	990,5	3,5	3,0			
348,5	259,8	3	4,8	876,4	7,6	7,0	1118,4	9,5	7,6
	857,7	36	30	900,1	6,4	6,3			
436,4	962,1	29	28	1174,0	5,3	4,2	1249,8	60	46
475,0	730,6	3,4	3,3	749,5	2,5	1,5	990,5	3,2	3,0
539,6	207,4	11	14-	808,6	8	9			
730,6	288,9	2,1	2,4	393,2	3	3,2	475,0	2,9	3,3
808,6	207,4	8	10	462,9	2,1	2,2	539,6	8	9
	361,4	2,2	2,9						
857,7	207,4	3,4	4,6	266,9	21	27	348,5	26	30
900,1	266,9	6,3	5,6	348,5	6,0	6,3			
962,1	207,4	18	22	386,0	4,0	4,4	436,4	32	28
	308,9	0,7	1						

Таблица 3

Энергия и структура уровней ^{175}Hf
по расчетам работы /6/

Энергия			Структура а)			
	эксп.	теор.				
$5/2^-$	0	0	$5I2\uparrow$	95%		
$7/2^-$	348	270	$5I4\downarrow$	95%	$5I2\downarrow + Q_2(22)$	2,4%
$1/2^-$	126	300	$52I\downarrow$	95	$52I\uparrow + Q_2(22)$	1,9%
					$523\downarrow + Q_2(22)$	1,6%
$7/2^+$	207	380	$633\uparrow$	95%	$52I\uparrow + Q_1(32)$	1,9%
					$633\uparrow + Q_1(20)$	1,6%
$9/2^+$	644	400	$624\uparrow$	96%	$5I2\downarrow + Q_1(32)$	3,5%
$1/2^-$	-	910	$5I0\uparrow$	79%	$5I2\uparrow + Q_2(22)$	12%
					$5I2\downarrow + Q_2(22)$	6%
$5/2^+$	732	1000	$642\uparrow$	83%	$642\uparrow + Q_1(20)$	10%
					$52I\downarrow + Q_1(32)$	1,7%
					$660\uparrow + Q_2(22)$	1,4%
$3/2^-$	-	1110	$5I2\downarrow$	75%	$5I4\downarrow + Q_2(22)$	13%
					$5I0\downarrow + Q_2(22)$	8,7%

Примечание: Q_1 и Q_2 - первые и вторые корни решения секулярного уравнения четно-четного ядра.

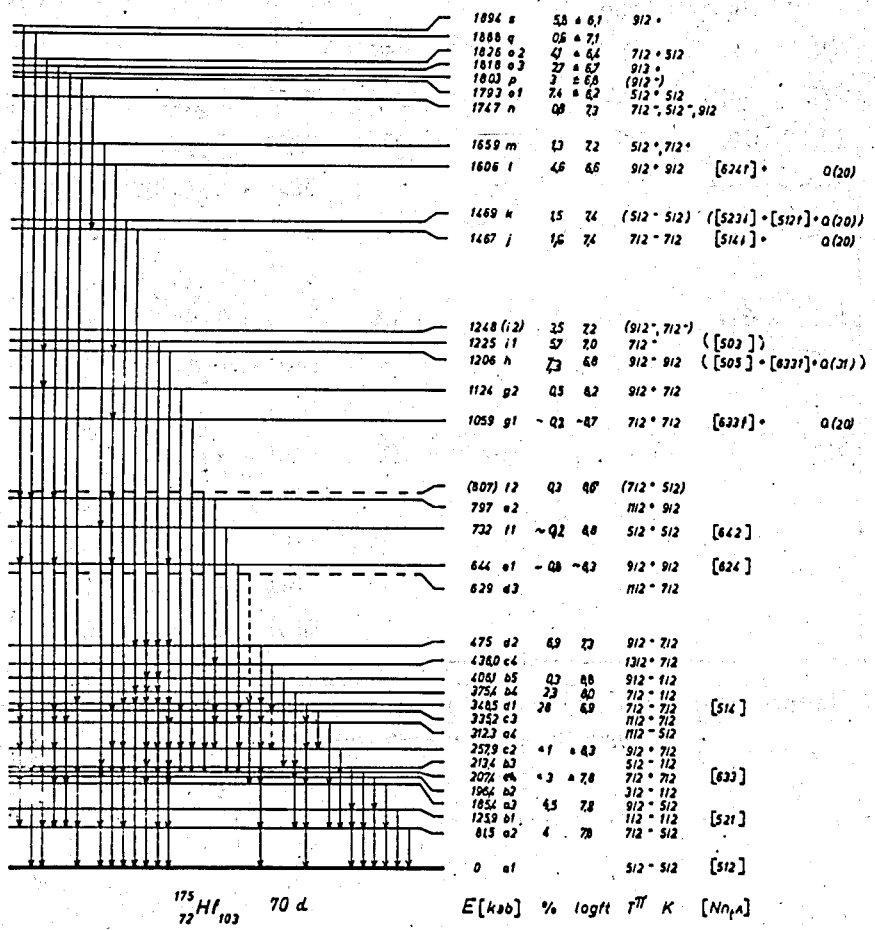
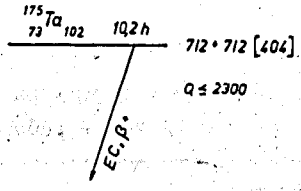


Рис. 1. Схема распада $^{175}\text{Ta} \rightarrow ^{175}\text{Hf}$. Гамма-переходы, идущие с одного уровня ^{175}Hf , показаны одной вертикальной линией. Каждый отдельный гамма-переход обозначается стрелкой у уровня, на который происходит этот переход. Все данные о соответствующих гамма-переходах даны в табл. 1. Все уровни ^{175}Hf отмечены буквами латинского алфавита, члены вращательных полос обозначены одной буквой с индексами 1,2,3 и т.д. в порядке возрастания энергий уровней.

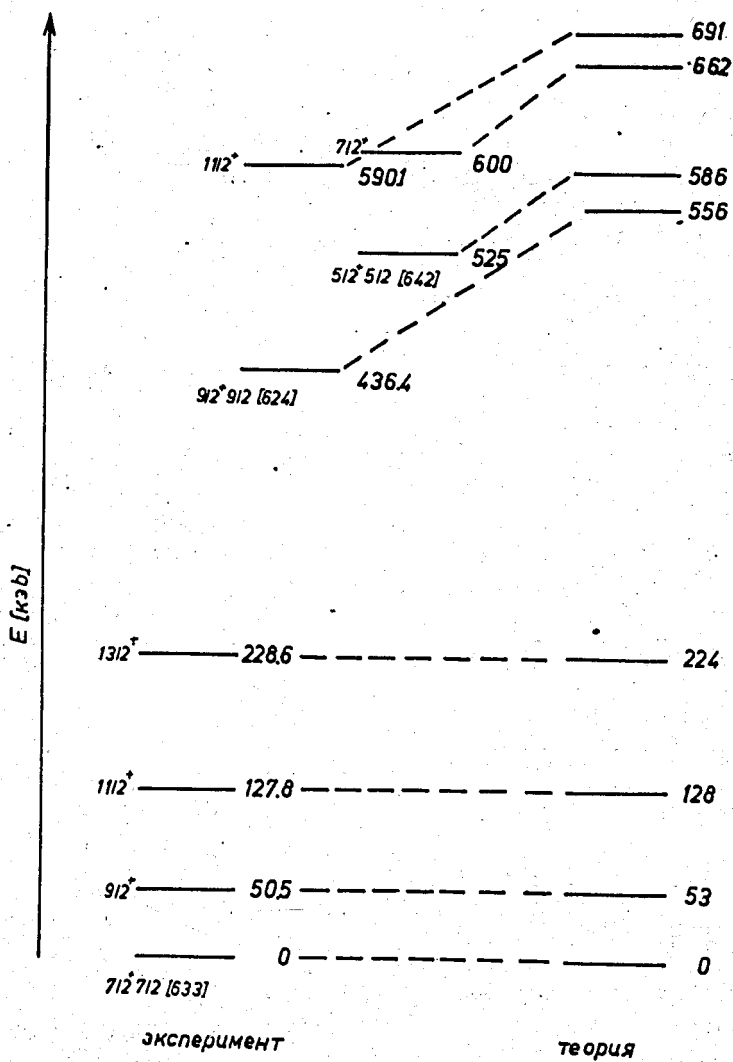


Рис. 2. Сравнение экспериментально полученного положения уровней с теоретическими расчётами взаимодействия Кориолиса по работе [18] с параметрами: $\hbar^2/2J = 12,5$ кэВ, $\Delta = 0,78$ МэВ и $\lambda = -5,73$ МэВ.