

С 341.18

Б-865

8/VI-71

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P6 - 5704

1847/2-71



5704

Б. Бочев, Р. Брода, И. Звольски, И. Молнар,
Н. Ненов

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

О РАСПАДЕ ¹⁷³Ta

1971

P6 - 5704

Б. Бочев, Р. Брода, И. Звольски, И. Молнар,
Н. Ненов

О РАСПАДЕ ¹⁷³Ta

Обединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Имеющиеся в литературе сведения об уровнях ^{173}Hf получены при изучении бета-распада ^{173}Ta . В работах^{/1-3/} исследован спектр конверсионных электронов, а в^{/1,4/} изучался спектр гамма-лучей ^{173}Ta с помощью сцинтилляционных спектрометров. Харматцем и др.^{/2,3/} предложена схема распада $^{173}\text{Ta} \rightarrow ^{173}\text{Hf}$. Недавно нам стало известно об экспериментах^{/5/}, в которых при изучении реакций $\text{Yb}(\alpha, \text{xn})$ были возбуждены ротационные полосы состояний $1/2^- / 521 /$, $5/2^- / 512 /$ и $7/2^+ / 633 /$ в ^{173}Hf .

В настоящей работе исследовались при распаде ^{173}Ta гамма-лучи, конверсионные электроны с энергиями выше 700 кэВ, гамма-гамма-совпадения, тройные совпадения с аннигиляционными квантами и времена жизни двух возбужденных состояний ^{173}Hf . На основе полученных данных предлагается схема распада ^{173}Ta .

1. Условия опыта

^{173}Ta был получен 1) в процессе глубокого расщепления золота протонами с энергией 660 МэВ на синхроциклотроне ОИЯИ и 2) в реакции $^{165}\text{Ho} (^{12}\text{C}, 4\text{n}) ^{173}\text{Ta}$ при энергии ионов ^{12}C 70 МэВ на циклотроне У-300 ОИЯИ. В источниках, полученных первым путем, присутствовали также изотопы ^{175}Ta , ^{176}Ta и ^{177}Ta . Источники второго типа содержали ^{174}Ta . Однако в силу существенной разницы в периодах полураспада ^{174}Ta (1 час) и ^{173}Ta (3,6 час), 3-4 часа спустя после конца облучения препарат (2) содержал преимущественно ^{173}Ta . Радиохимическое выделение тантала из облученных мишеней описано в^{/6/}. Источники первого типа были использованы главным образом для изучения конверсионных электронов, а источники второго типа для исследования гамма-спектров и спектров совпадений.

Для изучения конверсионных электронов мы пользовались бета-спектрометром с двукратной двойной фокусировкой типа $2 \times \pi \sqrt{2}$ /7/. Гамма-спектр ^{173}Ta был исследован с помощью $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторов (6 и 13 см^3). Спектры гамма-гамма-совпадений были сняты с помощью двух $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторов (10 и 30 см^3) с применением двухмерного анализатора, построенного на базе ЭВМ "Минск-2"/8/. Часть измерений по совпадениям и опыты по определению времен жизни были выполнены с помощью детекторов $\text{Ge}(\text{Li})$ (10 см^3) и $\text{NaI}(\text{Tl})$ ($40 \times 40 \text{ мм}^2$) или пластического сцинтиллятора ($10 \times 2 \text{ мм}^2$) с использованием аппаратуры, описанной в /9/.

2. Экспериментальные результаты

Результаты изучения конверсионных электронов и гамма-лучей приведены в табл. 1а,б. Данные о гамма-лучах, полученные с помощью $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторов, приведены в настоящей работе впервые. Кроме гамма-линий, указанных в табл. 1а, б, в гамма-спектре заметен ряд весьма слабых пиков с энергиями до ≈ 2700 кэВ. Для энергетической калибровки были использованы гамма-линии изотопов ^{137}Cs , ^{54}Mn , ^{56}Co и ^{60}Co . Эффективность регистрации гамма-лучей определялась с помощью изотопа ^{226}Ra . При изучении конверсионных электронов снимались лишь некоторые участки спектра в области энергий ≤ 650 кэВ. Привязка к шкале интенсивностей конверсионных электронов работы /2/ проведена посредством линий $K 700,3$ и $K 730,0$.

При исследовании гамма-гамма-совпадений "отбирающим" трактом выделялись линии $K\alpha$, $\gamma(81,5 + 90,1)$, $\gamma 160,3$, $\gamma 172,1$, $\gamma 180,6$, $\gamma 700,3$ и $\gamma 1208$ (табл. 2,3). При изучении совпадений с $K\alpha$ -лучами и квантами $\gamma(81,5 + 90,1)$, кроме обычного режима, использовался также режим с задержкой 190 нсек в одном из каналов схемы совпадений (табл.3). В первом случае задержка вводилась в канал, отбирающий $K\alpha$ -лучи, во втором случае - в канал, регистрирующий гамма-спектр.

Результаты опытов по задержанным совпадениям указали на существование изомерных состояний в ядре ^{173}Hf . Для изучения времен жизни возбужденных состояний были выполнены два типа опытов. Измерялись временные спектры совпадений 1) ($L 69 + L 81$)($\gamma 90$) с детекторами пластик -

- Na I(Tl) и 2) $(\text{Kx})(\gamma 90)$ с помощью детекторов $\text{Na I(Tl)} - \text{Ge(Li)}$, соответственно. Временные кривые совпадений показаны на рис. 1. Значение $T_{1/2} = (180 \pm 8)$ нсек, полученное в первом опыте, соответствует периоду полураспада уровня 107,2 кэВ, а значение $T_{1/2} \approx 170$ нсек, наблюдавшееся во втором опыте, принадлежит состоянию 197,7 кэВ ($7/2^+/633/$).

Для изучения позитронов ^{173}Ta был использован источник первого типа. Присутствие в источнике других изотопов тантала, обладающих также позитронным излучением, затрудняло анализ β^+ -спектра. Из сравнения полученного спектра позитронов со спектром, снятым с аналогичным источником тантала, содержащим, однако, лишь небольшую примесь ^{173}Ta , вытекает, что граничная энергия наиболее жесткой β^+ -компоненты ^{173}Ta имеет значение $E_{\text{гр}} \leq 2,100$ кэВ. Нами были проведены также опыты по тройным совпадениям с аннигиляционными квантами $\gamma 511[\text{Na I(Tl)}] - \gamma 511[\text{Na I(Tl)}] - \gamma[\text{Ge(Li)}]$. Результаты этих опытов приводятся в табл. 4.

В настоящей работе были определены КВК для некоторых переходов в ^{173}Hf . Для этого мы использовали значения относительных интенсивностей гамма-лучей и конверсионных электронов, а в области $E_{\gamma} < 700$ кэВ также интенсивности конверсионных электронов работы^{/2/}. Привязка шкал интенсивностей электронов и гамма-лучей в области энергий переходов $E_{\gamma} < 500$ кэВ была проведена в предположении, что переход $\gamma 172,1$ типа $E2$ ^{/2/}. Полученные таким образом значения КВК находятся в хорошем согласии с данными^{/2/} о мультипольностях переходов низких энергий, полученными из отношений $K/L_I / L_{II} / L_{III}$. Для вычисления КВК в области $E_{\gamma} > 500$ кэВ было принято предположение, что переходы 529,1 кэВ и 730,3 кэВ типа $E1$ и $M1$, соответственно. Отметим, что при использовании значений интенсивностей конверсионных электронов работы^{/2/} для определения КВК переходов с $E_{\gamma} \geq 500$ кэВ, применяя при этом коэффициент сшивания для более низкой области, мы получаем значения α_k в ≈ 23 раза завышенными. Можно думать, что интенсивности конверсионных электронов в низкой и высокой областях энергий даны в^{/2/} в разных единицах.

На рис. 2 показана схема распада $^{173}\text{Ta} \rightarrow ^{173}\text{Hf}$, соответствующая результатам измерений.

3. Обсуждение экспериментальных результатов

Харматц и Хандлей^{/2/} дали впервые сведения о состояниях ^{173}Hf , заселяющихся при распаде ^{173}Ta . Согласно^{/2/} в ^{173}Hf возбуждается ротационная полоса основного состояния $1/2^-/521/$ с членами 0 кэВ ($1/2^-$), 69,7 кэВ ($3/2^-$), 81,1 кэВ ($5/2^-$), 241,8 кэВ ($7/2^-$) и 262,1 кэВ ($9/2^-$), полоса состояния $5/2^-/512/$ (уровни 107,2 кэВ ($5/2^-$), 197,3 кэВ ($7/2^-$) и 312,3 кэВ ($9/2^-$)), состояние 165,2 кэВ $7/2^+/633/$ и уровень с энергией 694,8 кэВ.

Орбиталь $1/2^-/521/$ является характерной для основных состояний ядер с 101 нейтроном (^{169}Er , ^{171}Yb , ^{173}Hf). Состояния $5/2^-/512/$ и $7/2^+/633/$ следует ожидать в ^{173}Hf в наиболее низкой области энергий. С такой интерпретацией нижних состояний ^{173}Hf находятся в согласии и результаты расчётов Малова и др.^{/10/}, проведенных в рамках сверхтекучей модели с учётом взаимодействий фонон-частица.

Наши исследования подтвердили возбуждение уровней ротационной полосы основного состояния с энергиями 69,7 ($3/2^-$), 81,5 ($5/2^-$) и 241,8 кэВ ($7/2^-$). Подтверждается также существование уровня 107,2 кэВ, заселяющегося переходом γ_{90} . Полученное нами значение периода полураспада $T_{1/2}$ (ур. 107,2 кэВ) = (180±8) нсек не противоречит отождествлению этого состояния с орбиталью $5/2^-/512/$. Принимая во внимание данные^{/2/} об относительных интенсивностях переходов, разряжающих уровень 107,2 кэВ, мы получаем для перехода 107,2 (E2) значение $T_{1/2}^{\gamma} \geq 2 \cdot 10^{-5}$ сек. Расчёт по Нильссону (для $\eta = 6$) дает $T_{1/2}^{\gamma} (E2; 5/2^-/512/ \rightarrow 1/2^-/521/) = 2 \cdot 10^{-4}$ сек.

$5/2^-/512/$ отождествляется переходом γ_{90} с переходом между уровнями 197,3 ($7/2^-$) и 107,2 кэВ ($5/2^-$) ротационной полосы состояния $5/2^-/512/$. Однако такая интерпретация противоречит результатам наших измерений: 1) КВК перехода γ_{90} близок к значению для перехода типа E1, 2) переход γ_{90} наблюдается в спектре задержанных совпадений с Кх-лучами (задержка в канале, отбирающем Кх-лучи), что свидетельствует о

большом времени жизни уровня, разряжающегося переходом $\gamma 90$. Эти факты позволяют сделать вывод, что при распаде ^{173}Ta возбуждается состояние 197 кэВ с положительной чётностью, которому можно приписать квантовые характеристики $7/2^+/633/$.

В работе $^{2/}$ орбиталь $7/2^+/633/$ отождествляется с уровнем 165,2 кэВ. Аргументом для введения этого уровня авторам $^{2/}$ служила, по-видимому, и разность энергий переходов $\gamma 529,5$ и $\gamma 587,7$, разряжающих состояние 694,8 кэВ. Однако согласно нашим данным по задержанным совпадениям, оба перехода находятся в каскаде с переходом $\gamma 90$ и разряжают состояние 785 кэВ. Этот факт является одним из аргументов для введения уровня 255 кэВ, который можно интерпретировать как ротационный уровень $9/2^+/7/2^+/633/$. Обращает, однако, на себя внимание тот факт, что переходу $\gamma 58$ ($255(9/2^+) \rightarrow 197(7/2^+)$) приписана $^{2/}$ мультипольность $E1$.

На самом деле, как показывают результаты опытов по незадержанным совпадениям с $\gamma 81,5 + \gamma 90$ (совпадения $(\gamma 90)(\gamma 115)$), при распаде ^{173}Ta возбуждаются, по-видимому, также ротационные уровни 197,3 кэВ ($7/2^-$) и 312,3 кэВ ($9/2^-$) $^{2/}$. В таком случае существуют два близких уровня с энергией 197 кэВ, а линия $\gamma 90$ является дублетом. Такое заключение подтверждается также опытами по возбуждению ротационных полос состояний $5/2^-/512/$ и $7/2^+/633/$ в реакциях (α, xn) $^{5/}$.

Результаты наших опытов позволяют ввести в схему распада ^{173}Ta новые уровни с энергиями выше 700 кэВ (рис. 2). Однако экспериментальные данные пока недостаточны для более подробного рассмотрения их природы.

Отметим, наконец, некоторые интересные отличия распада $^{173}\text{Ta} \rightarrow$ $^{173}_{101}\text{Hf}$ по сравнению с распадом $^{171}\text{Lu} \rightarrow$ $^{171}_{101}\text{Yb}$. Ядро ^{173}Ta характеризуется 73 протонами. По аналогии с остальными изотопами тантала с более высокими массовыми числами можно ожидать в его основном состоянии квантовые характеристики $7/2^+/404/$. Такие же квантовые характеристики имеет и основное состояние ^{171}Lu $^{11/}$. В обоих случаях распада в дочерних ядрах возбуждаются, как наиболее низкие по энергии, орбитали $1/2^-/521/$, $5/2^-/512/$ и $7/2^+/633/$. Однако в отличие от распада ^{171}Lu , при бета-распаде ^{173}Ta наиболее интенсивно возбуждается ротационная полоса состояния $1/2^-/521/$, между тем как состояние $7/2^-/514/$,

заселяющееся в ^{171}Yb с самым низким $\log ft$, при распаде ^{173}Ta - ^{173}Hf пока не обнаружено, а его заселение не превышает, по-видимому, нескольких процентов. Эти факты могут показывать, что изучавшийся распад ^{173}Ta происходит с другого состояния, чем $7/2^+/404/$.

Авторы выражают свою благодарность К.Я. Громову за постоянную поддержку и интерес к работе, Г.Н. Флерову за предоставление времени на циклотроне тяжелых ионов У-300, С.И. Федотову за полезные замечания и дискуссию и М. Неновой, Я. Полаховой за помощь при обработке экспериментальных данных.

Литература

1. K.T.Faler and J.O.Rasmussen. Phys. Rev., 118, 265 (1960).
2. B.Harmatz and T.H.Handley. Nucl. Phys., A121, 481 (1968).
3. B.Harmatz, T.H. Handley and J.W.Mihelich. Phys.Rev., 119, 1345 (1960).
4. A.Santoni, A.Caruelle and I.Valentin. J. Phys.(Paris), 24, 407 (1963).
5. I.Resanka, S.Hultberg, H.Ryde. J.O.Rasmussen, F.M.Berthal and J.Alonso, Internal Conference on the Properties of Nuclei Far from the Region of Betastability, Leysin, Switzerland, p. 949, 1970.
6. Р. Брода, В. Валюсь, И. Звольски, Й. Молнар, Н. Ненов, Э.З. Рындина, У.М. Файнер, П. Шошев. Препринт ОИЯИ, Р6-5094, Дубна, 1970.
7. С.А. Шестопалова. Изв. АН СССР, сер. физ., 25, 1032 (1961).
8. В.С. Александров, Ф. Дуда, О.И. Елизаров, Г.П. Жуков, Г.И. Забиякин, З. Зайдлер, И. Звольски, Е.Т. Кондрат, З.В. Лысенко, В.И. Приходько и др. Препринт ОИЯИ, 13-4273, Дубна, 1968.
9. Т. Вальчак, Е. Киселевски, Я. Стычень, М. Шавловски, Х. Хрынкевич. Препринт ОИЯИ, 13-4025, Дубна, 1968.
10. Л. А. Малов, В.Г. Соловьев, С.И. Федотов. Препринт ОИЯИ, Р4-5228, Дубна, 1970.
11. D. Barneoud, J.Boutet, J.Gizon, J.Valentin. Nucl. Phys., A138, 33 (1969).

Рукопись поступила в издательский отдел

19 марта 1971 года.

Таблица Ia

Данные об энергиях переходов, интенсивностях γ -лучей и конверсионных электронов и мультипольностях переходов, возникающих при распаде ^{173}Ta

Энергия перехода E_γ [кэВ] (ΔE)	Относит. интенсивности			КВК		мультип.	
	I_γ	(ΔI_γ)	I_K (ΔI_K)	α_K			
69,7 ^a)	200	(30)				MI+E2 ^b)	
81,5 ^a)	90	(15)				E2 ^b)	
90,1 ^a)	50 ^д)	(300(20)	174 ^a)	5,8(-1)		MI	
90,1 ^a)	250						
115,0 ^a)	20 ^д)	(4)	47 ^a)	2,3(0)		MI	
160,3 ^a)	300	(20)	181 ^a)	6,0(-1)		MI+E2 ^b)	
172,1 ^a)	840	(70)	212 ^a)	2,5(-1)		E2 ^b), B)	
180,6 ^a)	80	(8)	34 ^a)	3,3(-1)		(E2)	
267	17	(3)	-				
285,2 ^a)	7,5	(1,5)	сл. ^a)				
529,5 ^a)	24	(3)	4,5 ^a)	5,2(-3)		MI ^Г)	
587,7 ^a)	16,4	(1,9)	7 ^a)	1,2(-2)		E2	
675,1 ^a)	39	(5)	4,5 ^a)	3,2(-3)		EI	
683,7 ^a)	≤ 1		сл.				
700,3 ^a)	100	(12)	28 ^a)	7,7(-3)		E2	
730,0 ^a)	51	(6)	28 ^a)	1,5(-2)		MI ^Г)	
743,5 ^a)	5	(2)	4 ^a)	4,2(-2)		MI	
774,5 ^a)	-	-	сл.				
846,1 ^a)	34	(5)	сл.				
864,2	(9)	27	(4)	3,5	(6)	3,6(-3)	(E2, E1+M2)
877,5	(6)	30	(5)	2,4	(5)	2,2(-3)	MI
883,0	(1,0)	10	(2)	0,6	(2)	6,3(-4)	EI
888,6	(1,0)	12	(2)	0,6	(2)	6,3(-4)	EI
892	(1)	4	1	0,6	(2)	6,3(-4)	EI

продолжение таблицы Ia

Таблица 1б

Значения энергий и интенсивностей гамма-лучей ^{173}Ta

957,9	(6)	40	(6)	3,1	(5)	2,1(-3)	(E1)
995;8	(6)	18,0	(2,5)	3,5	(6)	5,3(-3)	MI+E2
1006,6	(5)	33	(4)	9,0	(1,6)	7,5(-3)	MI
1029,8	(5)	110	(18)	5,2	(7)	1,3(-3)	E1
1045,1	(8)	19	(3)	5,2	(8)	7,5(-3)	MI
1208,0	(6)	200	(30)	4,3		5,9(-4)	(E1)

а) Значение заимствовано из работы / 3 /.

б) Определено по отношению к: $K/L_1/L_2/L_{\text{цв}}$ / 3 /.

в) Принято при определении α_k для переходов с энергиями до 300 кэв, коэффициент сшивания шкал I_k и I_γ : $K = 0,622$.

г) Принято при определении α_k для переходов с энергиями выше 500 кэв, коэффициент сшивания шкал: I_k и I_γ : $K = 0,0275$.

д) Интенсивность γ -лучей определена из $\gamma\gamma$ -совпадений.

Энергия перехода		Интенсивность		Энергия перехода		Интенсивность	
E_γ [кэв]	(ΔE_γ)	I_γ	(ΔI_γ)	E_γ [кэв]	(ΔE_γ)	I_γ	(ΔI_γ)
$\gamma \pm$		480	(60)	1173,5	(8)	7,5	(2,0)
549,3	(5)	14	(3)	1178,6	(6)	28	(4)
557,0	а)	10	(2)	1213,2	(1,2)	≈ 3	
567,1	(7)	5,0	(1,2)	1216,7	(1,4)	≈ 3	
614,8	(5)	10	(2)	1247,1	(1,5)	5	(2)
618,0	(1,1)	6	(2)	1254,1	(1,2)	11	(2)
648,7	(8)	4	(1)	1340,4	(1,3)	6	(2)
662,1	(6)	9,7	(1,9)	1344,7	(9)	10	(1)
667,5	(5)	10,0	(2,2)	(1368,0)	(6)	≤ 21	
686,2	(7)	3,2	(0,9)	1374,4	(7)	14	(2)
691,7	(7)	9,2	(2,0)	1380,7	(6)	35	(5)
740,8	(6)	13	(4)	1393,5	(5)	48	(6)
747,8	(7)	17	(4)	1425,0	(1,0)	8,6	(2,9)
753,0	(1,0)	10	(2)	1431,9	(8)	41	(6)
777,8	(8)	15,5	(2,5)	1435,8	(1,2)	10	(2)
789,2	(6)	8,4	(1,8)	1445,1	(8)	7	(2)
795,1	(8)	9,7	(2,2)	1460,6	(1,3)	15	(3)
799,4	(5)	40	(6)	1486,2	(1,2)	8	(2)
812,4	(7)	28	(5)	1490,8	(1,5)	8	(2)
822,6	(6)	23	(4)	1498,2	(1,1)	9	(2)
835,8	(6)	15,5	(2,0)	1547,3	(8)	22	(3)
851,6	(1,0)	12	(2)	1574,5	(8)	23	(3)
857,3	(7)	24	(3)	1584,8	(1,5)	≈ 3	
913,7	(6)	21	(3)	1589,1	(1,7)	≈ 3	

продолжение таблицы 1б

935,5	(1,5)	7	(2)	1597,6	(8)	24	(4)
939,5	(8)	15	(3)	1612,4	(9)	35	(6)
945,7	(1,7)	6	(2)	1616,1	(1,3)	12	(2)
949,6	(7)	27	(4)	1622,3	(1,6)	6	(2)
1052,9	(9)	7,6	(1,6)	1625,4	(1,5)	6	(2)
1086,5	(7)	7,1	(1,5)	1633,1	(1,0)	4	(2)
1105,2	(6)	7,5	(1,1)	1647,2	(1,2)	7	(2)
1127,1	(8)	9	(2)				
1167,2	(9)	5	(2)				

Таблица 2

Данные по гамма-гамма-совпадениям при распаде
 $^{173}\text{To} \rightarrow ^{173}\text{Hf}$

Зад. канал E_{γ} [кэВ]	Совпадающие гамма-лучи, E_{γ} [кэВ]
81,5+90,9	90,1; (107,2); 115,0; 160,3; 267; 700,3; 1208
160,3	81,5; 267; (438); 549; 557; 700,3; (496); 1006,6; 1208; 1374;
172,1	69,7; 267; (438); 549; 557; 567; 700,3; 996; 1006,6; 1208; 1374
180,6	1393; 1432
700,3	267
1208	160,3; 172,1

Таблица 3

Данные по задержанным гамма-гамма-совпадениям;
 задержка в задающем канале 190 нсек

Задающий канал E_{γ} [кэВ]	Совпадающие гамма-лучи E_{γ} [кэВ]
Kx	69,7; 81,5; 90,1
81,5+	90,1; (305); 438; 529; 588; 618; 667;
90,1	675; (692); (887)

Таблица 4

Данные по тройным β^+ - γ -совпадениям

E_{γ} [кэВ]	69,7; 81,5; 90,1; 160,3; 172,1; 285,2; (529) (588)
I_{γ}	122; 56 90 320 840 III 58 50

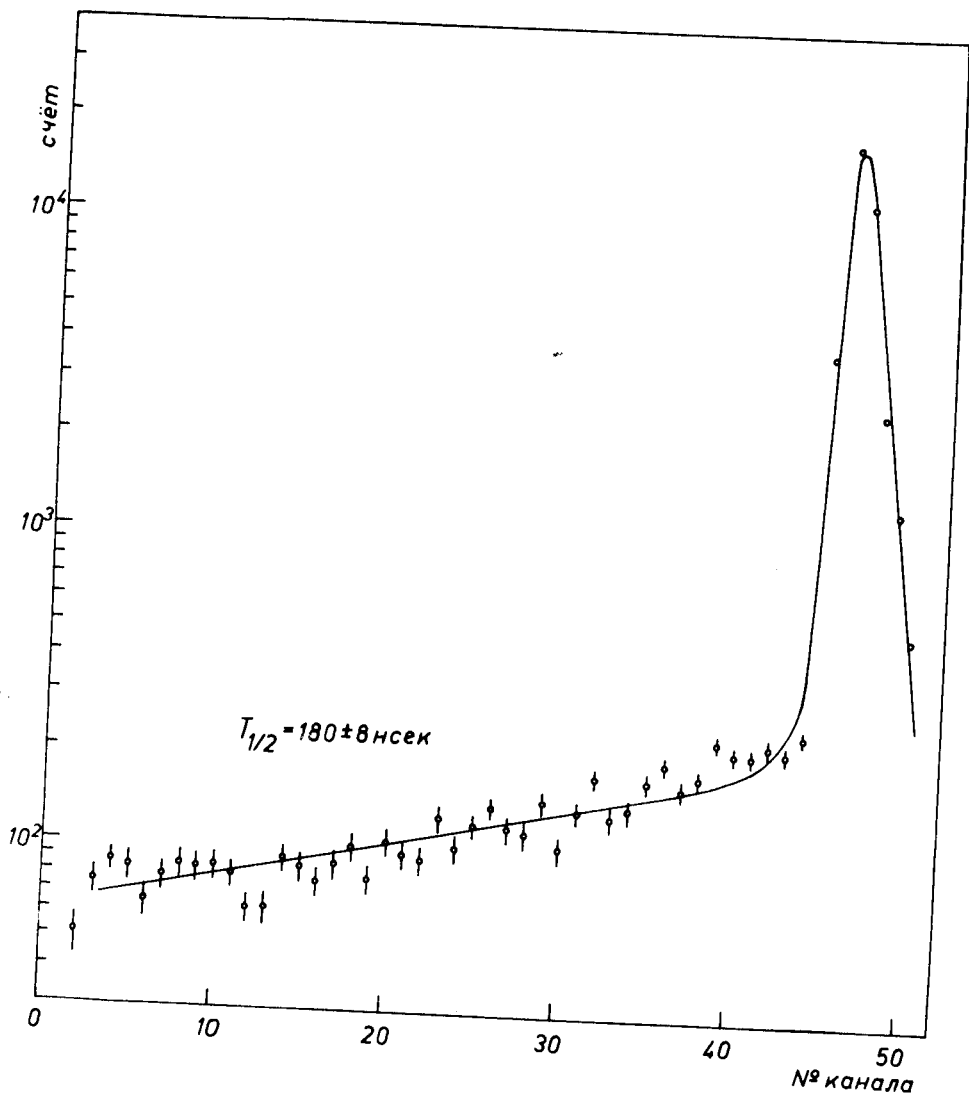


Рис. 1. Кривые временного анализа. В каналах выделялись $\gamma^{90}\text{Na J(Tl)}$ и $L 69,7 + L 81,5$ (пластик), соответственно.

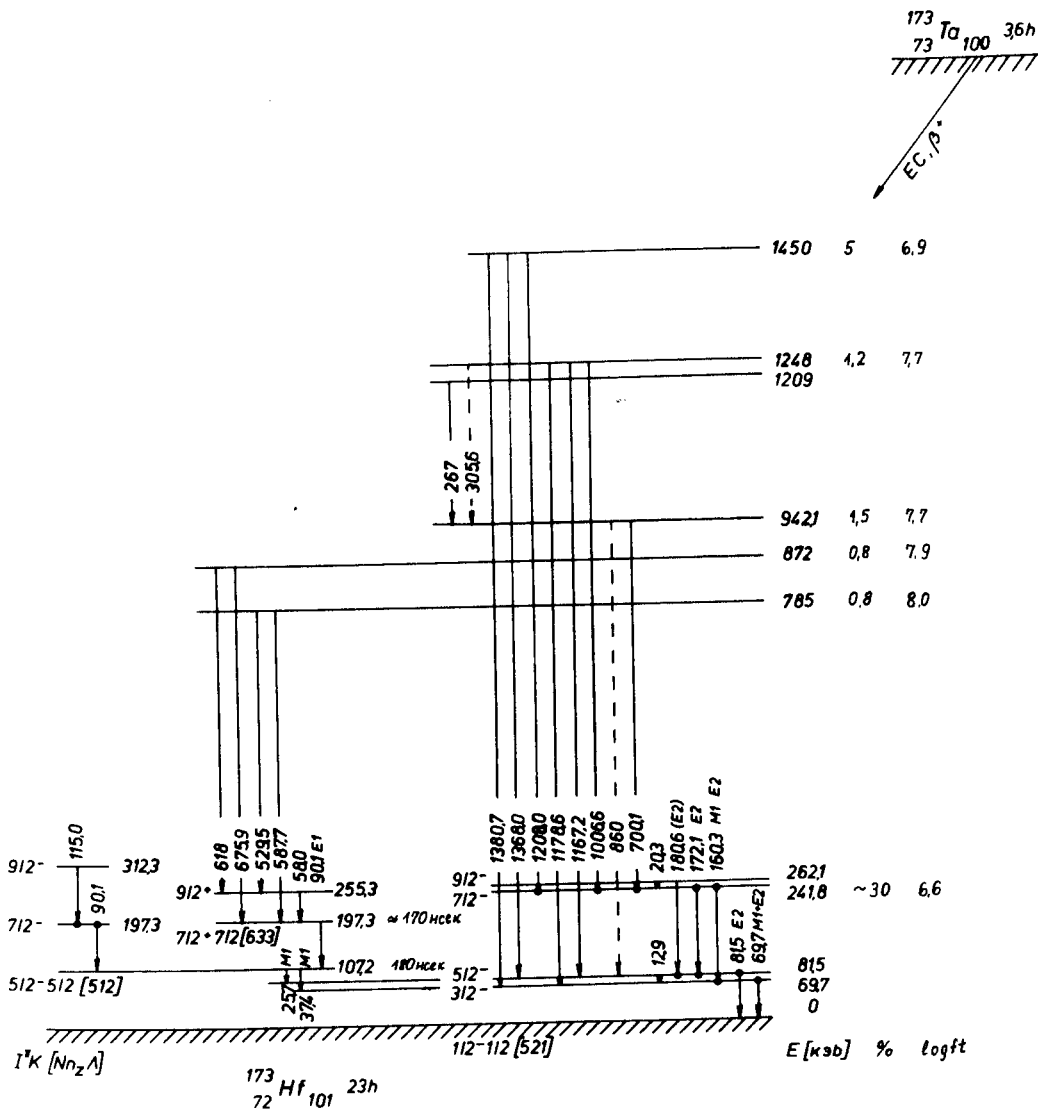


Рис. 2. Схема распада $^{173}Ta \rightarrow ^{173}Hf$. - обозначение совпадений.