

Оценка значений характеристик распада и излучений ^{93m}Nb , ^{111}In и ^{170}Tm

В. П. ЧЕЧЕВ, Н. К. КУЗЬМЕНКО

Представлены новые оцененные значения характеристик распада и излучений радионуклидов ^{93m}Nb , ^{111}In , ^{170}Tm , полученные с учетом информации, опубликованной в мировой литературе к 1999 г.

The new evaluated values of decay and radiation characteristics for ^{93m}Nb , ^{111}In , ^{170}Tm obtained with taking into account of the experimental and theoretical information published by 1999 are presented.

Согласно координационно-исследовательской программе работ, организованных Отделом ядерных данных Международного агентства по атомной энергии [1], предполагается в 1999—2000 г. обновить и расширить ранее разработанные рекомендуемые данные распада радионуклидов, используемых в качестве стандартов X-, γ -излучений [2].

В рамках этой программы, в которой участие авторов поддержано исследовательским контрактом с Международным агентством по атомной энергии RC 10315, мы выполняем оценку характеристик распада и излучений 12 радионуклидов [3]. В настоящей работе представлены новые оцененные значения для трех из них: ^{93m}Nb , ^{111}In , ^{170}Tm . Оценка проведена на основе экспериментальной информации, опубликованной в мировой физической литературе к 1999 г.

1. Радионуклид ^{93m}Nb . В [2] по состоянию информации на 1991 г. оценены значения наиболее важных для практики ядерно-физических характеристик (ЯФХ) ^{93m}Nb — периода полураспада и абсолютной интенсивности компонентов KX-излучения. Рекомендованные данные [2] использованы также в недавней сводке значений ЯФХ ^{93m}Nb , приведенной в Nuclear Data Sheets [4]. По состоянию информации на 1999 г. в сравнении с исходными для оценок [2, 4] экспериментальными данными мы нашли лишь один дополнительный экспериментальный результат, связанный с косвенным измерением абсолютной интенсивности K α -излучения Nb из сравнения измерений удельной активности раствора ^{93m}Nb двумя методами — с помощью жидкого сцинтиллятора и Si (Li)-детектора [5]. Этот результат подтвердил предыдущее измерение KX-излучения Nb с тем же Si (Li)-детектором [6].

В настоящей работе для оценки ЯФХ ^{93m}Nb в отличие от [4] мы использовали в качестве опорных величин оцененное значение суммарной абсолютной интенсивности KX-излучения Nb и теоретическое значение коэффициента внутренней конверсии (КВК) гамма-перехода 30,77 кэВ ($\alpha_K = 2,62(8) \cdot 10^4$), полученное для мультипольности M4 интерполяцией по компьютерной программе [7] из таблиц КВК [8]. Относительная погрешность α_K принята 3% в соответствии с имеющимися оценками достоверности расчетов теоретических значений КВК с чистым мультипольным составом. Принятое теоретическое значение $\alpha_{K\tau}$ хорошо со-

гласуется с экспериментальным $\alpha_{K\alpha} = 2,58(15) \cdot 10^4$ [9] и расходится с $\alpha_{K\alpha} = 1,7(3) \cdot 10^4$, рассчитанным в [10] из измененного отношения $I_\gamma / I_{KX} = 8(1) \cdot 10^{-5}$.

Полученные оцененные значения характеристик распада и излучений ^{93m}Nb представлены в табл. 1 и 2.

Период полураспада ^{93m}Nb оценен нами ранее в [11—13]. Сводка использованных для оценки $T_{1/2}$ экспери-

Таблица 1
Оцененные значения характеристик фотонного излучения ^{93m}Nb

X, γ	$E_{X,\gamma}$, кэВ	Число фотонов на 100 распадов
ΣLX	1,90—2,66	2,89(13)
K α_2	16,521	3,16(7)
K α_1	16,615	6,04(12)
K β	18,61—18,96	1,79(5)
ΣKX	—	10,99(22)
γ	30,77(2)	$5,56(16) \cdot 10^{-4}$

Таблица 2
Оцененные значения характеристик электронного излучения ^{93m}Nb

σ	E_σ , кэВ	Число электронов на 100 распадов
ce(K)	11,78(2)	14,6(3)
ce(L)	28,07—28,40	68(3)
ce(M)	30,30—30,56	15,0(9)
ce(NO)	30,71—30,74	2,4(1)
Σce	—	99,999444(16)
KLL	13,49—14,14	2,55(8)
KLX	15,79—16,58	1,00(3)
KXY	18,02—18,91	0,095(3)
$\Sigma e(AK)$	—	3,64(11)

Оцененные значения вероятности электронного захвата ^{111}In

Переход	E_{γ} , кэВ	Полная вероятность перехода P_{Σ}	$\lg ft$	Вероятность электронного захвата на атомных оболочках			
				P_K	P_L	P_M	P_{NO}
ϵ_1	448(6)	0,99995(5)	5,0	0,8516(15)	0,1186(11)	0,0248(5)	0,0050(3)
ϵ_2	469(6)	0,00005(5)	9	0,8522(15)	0,1181(11)	0,0247(5)	0,0050(3)

Таблица 4

Оцененные значения характеристик гамма-переходов и коэффициентов внутренней конверсии ^{111}In

E_{γ} , кэВ	Вероятность перехода	Мультипольность	α_K	α_L	α_M	$\alpha_{\text{полн}}$
150,81(3)	0,00005(5)	$E3$	1,45(3)	0,69(2)	0,14(1)	2,31(4)
171,28(3)	0,99995(5)	$M1 + 2\% E2$	0,089(2)	0,011(1)	0,0021(1)	0,103(3)
245,35(4)	1	$E2$	0,0526(6)	0,0083(1)	0,0016(1)	0,0628(7)

ментальных данных приведена в [12]. Методика оценки с использованием процедуры статистической обработки наборов данных с различной степенью расходимости изложена в [13].

Для γ -излучения с энергией $E_{\gamma} = 30,77(2)$ кэВ и мультипольностью $M4$ коэффициенты внутренней конверсии составили: $\alpha_K = 2,62(8) \cdot 10^4$; $\alpha_L = 1,216(40) \cdot 10^5$; $\alpha_M = 2,69(8) \cdot 10^4$; $\alpha_{\text{полн}} = 1,79(5) \cdot 10^5$.

Оцененное значение суммарной абсолютной интенсивности KX -излучения ΣI_{KX} получено как среднее взвешенное пяти результатов измерений. Они включают значение 11,0(4)%, рассчитанное с использованием $\alpha_{KT} = 2,62(8) \cdot 10^4$ и выхода флуоресценции на K -оболочке $\omega_K = 0,751(4)$ [14], и три экспериментальных значения: 10,7(3); 11,04(28); 11,12(22) % [2, 5].

Абсолютная интенсивность компонентов KX -излучения вычислена из ΣI_{KX} по данным об относительной интенсивности $K\beta / K\alpha = 0,1953(16)$, $K\alpha_2 / K\alpha_1 = 0,5236(25)$ [14].

Суммарная интенсивность LX -излучения рассчитана с использованием значения α_{LT} и атомных данных $\omega_L = 0,0347(9)$, $n_{KL} = 1,045(4)$ [14].

Значения абсолютной интенсивности K -оже электронов рассчитаны из интенсивности K -конверсионных электронов с использованием относительных интенсивностей $KLX / KLL = 0,391(4)$, $KXY / KLL = 0,038(7)$ [14].

2. **Радионуклид ^{111}In** распадается электронным захватом через возбужденный уровень с энергией 416,6 кэВ в ^{111}Cd (более 99,9 % распадов) и через изомерный уровень в ^{111}Cd ($T_{1/2} = 48,5$ мин) с энергией 396,2 кэВ (менее 0,01 % распадов). Полученные нами по состоянию информации на 1999 г. оцененные значения характеристик распада и излучений ^{111}In приведены в табл. 3—6. Ниже, в разделах 2.1—2.6 даны комментарии и обоснование приведенных оценок.

2.1. **Схема распада и период полураспада ^{111m}Cd** . Схема распада ^{111}In хорошо известна (см., например, [15]). Переходы в основное состояние и на возбужденный уровень 245,4 кэВ в ^{111}Cd на опыте не наблюдались. Для вероятности электронного захвата на возбужденный уровень 396,2 кэВ верхний предел $1 \cdot 10^{-4}$ найден Мейером и Ландрумом [16]. Период полураспада этого метастабильного уровня оценен нами с использованием экспериментальных данных, приведенных в табл. 7, как среднее взвешенное шести значений $T_{1/2}$. При статистической обработке экспериментальных данных погрешность результата измерения ^{87}Ne 01 увеличена до 0,12 мин в соответствии с нашей процедурой оцен-

Таблица 5
Оцененные значения характеристик электронного излучения ^{111}In

e	E_e , кэВ	Число электронов на 100 распадов
$\text{Cd } eAL$	1,9—4,0	100(4)
$\text{Cd } eAK$	18,56—26,68	15,4(4)
KLL	18,56—19,50	10,4(3)
KLX	21,88—13,17	4,5(1)
KXY	25,14—26,68	0,48(2)
$\gamma_{3,1} \text{ } eCK$	144,57(3)	8,07(18)
ecL	167,3—167,7	1,00(9)
ecM	170,5—170,9	0,19(1)
$ecNO$	171,2	0,08
$\gamma_{1,0} \text{ } eCK$	218,64(4)	4,95(6)
ecL	241,3—241,8	0,78(1)
ecM	244,6—245,0	0,15(1)
$ecNO$	245,2—245,3	0,03

Таблица 6

Оцененные значения характеристик фотонного излучения ^{111}In

X, γ	$E_{X, \gamma}$, кэВ	Число фотонов на 100 распадов
$\text{Cd } LX$	2,76—3,95	6,8(2)
$\text{Cd } KX$	23,00—26,8	82,7(5)
$K\alpha_2$	22,9843	23,6(2)
$K\alpha_1$	23,1739	44,4(3)
$K\beta_3$	26,0615	
$K\beta_1$	26,0958	12,4(4)*
$K\beta_5$	26,304	
$K\beta_2$	26,6441	
$K\beta_4$	26,7106	2,3(1)**
γ_{151}	150,81(3)	0,0015(15)
γ_{171}	171,28(3)	90,66(25)
γ_{245}	245,35(4)	94,09(6)

* Суммарное число для $K\beta_3$, $K\beta_1$, $K\beta_5$.

** То же для $K\beta_2$, $K\beta_4$.

Суммарное число всех для $K\beta$ оценено 14,7(1).

Таблица 7

Результаты измерений периода полураспада ^{111m}Cd
(Оцененное значение $T_{1/2} = 48,50(9)$ мин [$\chi^2 / 5 = 0,9$]).

$T_{1/2}$	Литература	NSR-код*
48,7(3)	[17]	45Wi11
50(2)	[18]	48Ho37
48,6(3)	[19]	49He06
49,4(7)	[20]	68Bo28
48,54(5)	[21]	87Ne01
48,30(15)	[22]	97Xi**

* Код ссылки, принятый в Nuclear Science References журнала «Nuclear Data Sheets».

** Неполный код.

ки [13], которая использует метод ограничения веса результатов (LWM) [23].

2.2. *Период полураспада ^{111}In* . Результаты измерения $T_{1/2}$ (^{111}In), рассмотренные нами, показаны в табл. 8. Для статистической обработки отобраны десять результатов измерений (табл. 9), ссылка 82HoZY опущена, так как авторы ревисовали свой результат в 92Un01, ссылка 72Gu19 исключена из-за отсутствия сведений о погрешности.

Таблица 8

Результаты измерений периода полураспада ^{111}In

$T_{1/2}$, сут	Литература	NSR-код
2,84(3)	[19]	49He06
2,81(1)	[24]	57Ma26
2,84(11)	[25]	68Li08
2,96(8)	[26]	68Sm08
2,83(1)	[27]	72Em01
2,84*	[15]	72Gu19
2,802(3)**	[28]	78La21
2,8071(15)	[29]	80Ho17
2,8048(5)	[30]	82HoZY
2,8049(5)	[31]	83Wa26
2,8048(1)	[32]	86Ru09
2,80477(53)	[33]	92Un01

* Погрешность не приведена.

** Погрешность для доверительной вероятности 99,7 %.

Таблица 9

Отобранные результаты измерений периода полураспада ^{111}In

$T_{1/2}(1\sigma)$, сут	Литература	NSR-код
2,84(3)	[19]	49He06
2,81(1)	[24]	57Ma26
2,84(11)	[25]	68Li08
2,96(8)	[26]	68Sm08
2,83(1)	[27]	72Em01
2,802(1)	[28]	78La21
2,8071(15)	[29]	80Ho17
2,8049(5)	[31]	83Wa26
2,8048(1)	[32]	86Ru09
2,8048(5)	[33]	92Un01

Таблица 10

Результаты обработки данных по периоду полураспада ^{111}In , полученные различными статистическими процедурами*
(Оцененное значение $T_{1/2} = 2,8047(4)$ сут)

Процедура	$T_{1/2}$, сут	Погрешность, сут $\times 10^{-4}$
UWM	2,8304	152
WM	2,8047	2,4
CHV	2,8160	53,2
UIHF	2,8047	3,7
PINF	2,8047	3,7
BAYS	2,8047	4,2
MBAYS	2,8047	3,9
LWM	2,8304	256
IEWX	2,8073	31,6
NORM	2,8048	3,6
RAJ	2,8048	2,4
WM, tS	2,8047	3,8

* Описание процедур и обозначения см. в [23].

Контроль относительного веса других результатов измерений с использованием LWM-процедуры показал, что относительный вес значения 86Ru09 составляет 91,7 %. Поэтому погрешность этого результата увеличена до 0,00033 сут, чтобы сделать в итоговом наборе данных «3» его вес равным 50 %. Принимая во внимание значение $\chi^2 = 22,0$ и сравнивая его с табличным $(\chi^2)_9^{0,05} = 16,9$, мы получаем оцененное значение с помощью процедур [WM, tS] или MBAYS (см. [13]): $T_{1/2}(^{111}\text{In}) = 2,8047(4)$ сут. В табл. 10 этот результат сравнивается с результатами, найденными для других статистических процедур. Следует отметить, что ранее сделанная нами оценка $T_{1/2}(^{111}\text{In})$ [11—13], в которой было использовано только пять значений [28, 29, 31—33], совпадает с оценкой, полученной здесь по всем десяти данным.

2.3. *Энергия распада и вероятности электронного захвата*. Оцененные значения вероятностей электронного захвата (P_K, P_L, P_M) рассчитаны из таблиц [34] с использованием значения энергии распада $Q_\beta = 865(5)$ кэВ [35]. Вероятность захвата на изомерный уровень 396,2 кэВ ^{111}Cd принята, как и в [2], равной $(5 \pm 5) \cdot 10^{-5}$, исходя из экспериментального верхнего предела $1 \cdot 10^{-4}$ [16].

2.4. *Гамма-переходы и коэффициенты внутренней конверсии*. Оцененные значения энергий гамма-переходов 171,28(3) и 245,35(4) кэВ получены как средние взвешенные результатов измерений [36—39]. В этих же работах была измерена с погрешностью порядка 3—5 % относительная интенсивность гамма-квантов в распаде ^{111}In . Однако эти данные не включены в оценку, так как расчет из схемы распада с использованием КВК дает для абсолютных интенсивностей гамма-квантов гораздо более высокую точность (см. табл. 3). В табл. 11 приведены экспериментальные и оцененные нами значения полных КВК для гамма-переходов с энергиями 171 и 245 кэВ.

Мультипольности этих гамма-переходов установлены в [40, 42, 43]. Для гамма-переходов 171 кэВ как среднее взве-

Таблица 11

Коэффициенты внутренней конверсии
для гамма-переходов ^{111}In
(Оцененные значения КВК: 0,103(3) и 0,0628(7))

КВК для		Литература
γ_{245}	γ_{171}	
0,109(3)	0,0640(7)	[8] (теория)
0,124(6)	0,0634(30)	[37]
0,100(3)	0,0618(15)	[38]
0,099(3)	0,0621(15)	[40]
0,1018(3)	0,0620(7)	[41]

шенное данных [40, 42, 43] получен коэффициент смеси мультипольностей $E2/M1 = 0,144(3)$. Это значение соответствует примеси $E2$, равной 2,07(9) %. Для КВК гамма-перехода 150,81(3) кэВ приняты теоретические значения из [8].

2.5. *Атомные характеристики.* Выходы флюоресценции на атомных K - и L -оболочках $\omega_K, \omega_L, n_{KL}$ и относительные интенсивности компонентов KX -излучения и электронов Оже приняты из таблиц [14]. Значения энергий компонентов X -излучения вычислены из длин волн, приведенных в [44]. Энергии электронов Оже приняты по [45].

2.6. *Абсолютные вероятности эмиссии гамма-квантов* рассчитаны из оцененных значений полных КВК:

$$P_{\gamma 245} = 1,0 / (1 + \alpha_{\text{полн}}^{\gamma 245}), P_{\gamma 171} = 0,99995(5) / (1 + \alpha_{\text{полн}}^{\gamma 171}), P_{\gamma 151} =$$

$= (5 \pm 5) \cdot 10^{-5} / (1 + \alpha_{\text{полн}}^{\gamma 151})$. Последнее расчетное значение согласуется с экспериментальной оценкой в [37]: $P_{\gamma 151} \approx 3 \cdot 10^{-5}$.

3. *Радионуклид ^{170}Tm* не вошел в список радионуклидов, характеристики которых оценены в [2]. Однако он широко используется для градуировки рентгеновских и гамма-спектрометров в области энергий 40—100 кэВ. Особенно важными в этих целях являются энергия и абсолютная интенсивность гамма-излучения, сопровождающего β^- -распад ^{170}Tm [46]. Детальная оценка характеристик распада ^{170}Tm по состоянию информации на 1988 г. была выполнена нами в [46, 47]. В настоящей работе для оценки использованы новые уточненные данные по энергиям распада $Q_{\beta} = 968,0(8)$ кэВ и $Q_{\alpha} = 314,4(18)$ кэВ [35] и по атомным характеристикам [14]. Кроме того, для расчета схемы распада приняты теоретические КВК из таблиц [48] (вместо таблиц Хагера и Зельтцера). Уточнена также в соответствии с новыми рекомендациями Хелмера [49] энергия гамма-излучения в β -распаде ^{170}Tm .

Полученные в настоящей работе оцененные значения ЯФХ ^{170}Tm представлены в табл. 12—17. Новая оценка периода полураспада ^{170}Tm с использованием методики оценки [11—13] показана в табл. 18. Оцененное значение периода полураспада ^{170}Tm получено как среднее взвешенное четырех результатов измерений [50, 52—54].

Значения вероятностей электронного захвата на уровень основного состояния $P_{\epsilon}(0)$ и уровень 78,6 кэВ $P_{\epsilon}(79)$ получены из балансовых соотношений:

$$P_{\epsilon}(0) = \frac{P_{\gamma}(84)}{P_{\epsilon K}(0)} \left\{ \alpha_K(84) \frac{\sum KX(E\gamma) \omega_K(Yb)}{\sum KX(Yb) \omega_K(E\gamma)} - \frac{P_{\gamma}(79)}{P_{\gamma}(84)} \times \right. \\ \left. \times [\alpha_K(79) + P_{\epsilon K}(79)(1 + \alpha_{\text{полн}}(79))] \right\}; \\ P_{\epsilon}(79) = P_{\gamma}(79) (1 + \alpha_{\text{полн}}(79)).$$

Таблица 12

Оцененные значения вероятности β^- -распада ^{170}Tm

Переход	E_{β} , кэВ	Вероятность перехода	$\lg ft$
β_1	883,7(8)	0,183(7)	8,93
β_2	968,0(8)	0,816(7)	9,44

Таблица 13

Оцененные значения вероятности электронного захвата на уровни ^{170}Er

Переход	Энергия уровня, кэВ	E_{ϵ} , кэВ	Вероятность перехода	$\lg ft$
ϵ_1	78,6	235,8(18)	0,00029(3)	10,20
ϵ_2	0	314,4(18)	0,00118(7)	9,91

Таблица 14

Оцененные значения вероятности электронного захвата на атомных оболочках Er

Переход	P_K	P_L	P_M	P_N	P_O
ϵ_1	0,7595(22)	0,1822(15)	0,0491(9)	0,0114(6)	0,0017(1)
ϵ_2	0,7838(19)	0,1645(13)	0,0401(8)	0,0101(5)	0,0015(1)

Таблица 15

Оцененные значения характеристик гамма-переходов и коэффициентов внутренней конверсии в распаде ^{170}Tm

Энергия перехода, кэВ	Вероятность перехода	σ_L	α_K	α_L	σ_M	$\alpha_{\text{НО}}$	$\alpha_{\text{полн}}$
78,59(2)	0,00029(3)	$E2$	1,72(3)	4,51(7)	1,10(2)	0,292(8)	7,62(12)
84,25477(8)	0,183(7)	$E2$	1,39(2)	3,81(6)	0,94(2)	0,250(7)	6,39(10)

Таблица 16

Оцененные значения характеристик фотонного излучения ^{170}Tm

X, γ	$E_{X, \gamma}$, кэВ	Число фотонов на 100 распадов
$Yb LX$		
$L I$	6,49	0,059(3)
$L\alpha + L\eta$	7,35	1,42(7)
$L\beta$	8,44	1,49(7)
$L\gamma$	9,73	0,247(13)
ΣLX	—	3,22(13)
$Er KX$		
$K\alpha 2$	48,222	0,0332(16)
$K\alpha 1$	49,128	0,0590(24)
$K\beta 1'$	55,60	0,0191(10)
$K\beta 2'$	57,20	0,0050(3)
ΣKX	—	0,113(6)
$Yb KX$		
$K\alpha 2$	51,354	0,95(4)
$K\alpha 1$	52,389	1,67(7)
$K\beta 1'$	59,30	0,55(3)
$K\beta 2'$	60,98	0,144(7)
γ_{79}	78,59(2)	0,0034(3)
γ_{84}	84,25474(8)	2,48(9)

Таблица 17

Оцененные значения характеристик электронов
внутренней конверсии ^{170}Tm

Элемент	e	E_e , кэВ	Число электронов на 100 распадов
Er	ec_K	21,10(2)	0,0058(5)
	ec_L	68,84—70,23	0,015(1)
	ec_M	76,38—77,18	0,0037(3)
Yb	ec_K	22,9224(1)	3,45(13)
	ec_L	73,77—75,31	9,45(40)
	ec_M	81,86—82,73	2,33(10)

Таблица 18

Результаты измерений периода полураспада ^{170}Tm
(Оцененное значение $T_{1/2} = 127,8(6)$ сут)

$T_{1/2}$, сут	Литература	NSR-код
125(2)	[50]	62Bo12
134,2(8)*	[51]	65Fl02
128(1)	[52]	67Ke13
128,6(3)	[53]	68Re04
127,1(3)	[54]	69La34

* Опущено из усреднения по статическому критерию.

При этом использованы теоретические значения КВК, теоретические значения вероятностей электронного захвата $P_{eK}(0) = 0,7837(21)$, $P_{eK}(79) = 0,7593(27)$ [34] и измеренное в [55] отношение $\Sigma KX(\text{Er}) / \Sigma KX(\text{Yb}) = 0,035(1)$.

Вероятности β -распада рассчитаны из балансовых соотношений $P_{\beta^-}(84) = 1 + \alpha_{\text{полн}}(84)$, $P_{\beta^-}(0) = 1,0 - P_e(0) - P_e(79) - P_{\beta^-}(84)$.

Абсолютная вероятность эмиссии гамма-излучения с энергией 84 кэВ $P_{\gamma}(84)$ получена аналогично оценке Nuclear Data Sheets [56] как среднее взвешенное трех экспериментальных результатов: 0,0254(6) [57], 0,0256(4) [46, 58] и 0,0237(4) [59].

Абсолютная вероятность эмиссии гамма-излучения с энергией 78,6 кэВ $P_{\gamma}(79)$ получена с использованием среднего взвешенного отношения $P_{\gamma}(78,6) / P_{\gamma}(84)$, которое измерено в [55, 60, 61].

Оцененное значение энергии γ -излучения $E_{\gamma}(78,6)$ получено как среднее взвешенное трех результатов измерений: 78,59(2) [62], 78,7(5) [63] и 78,6(4) кэВ [60]. Значение энергии γ -излучения $E_{\gamma}(84)$ принято по [49]. Для КВК обоих γ -переходов, имеющих одну и ту же мультипольность E2, приняты теоретические значения по [48].

Оцененные значения α_{No} получены из теоретического α_{M} , с использованием отношения $\alpha_{\text{M}} / \alpha_{\text{No}} = 3,77(9)$ из [64].

Среднее взвешенное восьми экспериментальных результатов измерений $\alpha_{K\tau}^{Y84}$: 1,48(5) [65]; 1,41(4) [66]; 1,37(4) [60]; 1,41(5) [67]; 1,46(7) [57]; 1,39(3) [61]; 1,41(3) [68]; 1,43(4) [59] — равно 1,41(3) и хорошо согласуется с теорети-

ческим значением $\alpha_{K\tau}^{Y84} = 1,39(2)$. Относительная погрешность КВК принята равной 1,5 % и перекрывает значения $\alpha_{K\tau}^{Y84}$ и $\alpha_{K\tau}^{Y84}$.

Абсолютные интенсивности компонентов KX - и LX -излучений рассчитаны на основе относительных интенсивностей I_{X1} / I_{Y84} , измеренных в [61, 68], с использованием нашей предыдущей оценки [46].

ЛИТЕРАТУРА

1. Summary Report of the 1-st Research Coordination Meeting on Update of X- and Gamma-Ray Decay Data Standards for Detector Calibration and Other Applications, IAEA, 9—11 December, 1998, Vienna.
2. X-Ray and Gamma-Ray Standards for Detector Calibration, IAEA-TECDOC-619, IAEA, September, 1991. — P. 87.
3. Чечев В. П., Кузьменко Н. К., Егоров А. Г. // Тез. докл. междунаро. конф. по ядерной физике «50 лет ядерным оболочкам» (49 Совещ. по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра), Дубна, 20—23 апреля 1999. — СПб., 1999. — С. 147.
4. Baglin C. M. // Nucl. Data Sheets. — 1997. — V. 80. — N 1. — P. 1.
5. Gunther E., Schotzig U. // Nucl. Instrum. Meth. — 1992. — V. A312. — N 1, 2. — P. 132.
6. Coursey B. M. e. a. // Nucl. Instrum. Meth. — 1990. — V. A290. — P. 537.
7. Be M. M. e. a. // Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. — 1996. — V. A369. — P. 523.
8. Rüssel F. e. a. // Atomic Data and Nucl. Data Tabl. — 1978. — V. 21. — P. 91.
9. Jurcevic M., Ljubicic A., Rendic D. // Fizika (Zagreb). — 1976. — V. 8. — P. 81.
10. Morel J., Perot J.-P., Coursol N. // Compt. Rend. — 1977. — V. B284. — P. 223.
11. Chechev V. P. // Proc. Intern. Symp. «Advances in α -, β - and γ -Ray Spectrometry», Pushkin (St. Petersburg, Russia), September, 1996; CIEMAT, Madrid, 1997. — P. 87.
12. Чечев В. П. // Вопросы атомной науки и техники. Ядерные константы. — 1996. — Вып. 2. — С. 126.
13. Чечев В. П. // Измерительная техника. — 1998. — № 8. — С. 47.
14. Schönfeld E., Janßen H. // Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. — 1996. — V. A369. — P. 527.
15. Гуреев С. Е., Исмаилов Т., Усаченко В. С. // Изв. АН УзССР, сер. физ. мат. — 1972. — Т. 1. — С. 87
16. Meyer R. A., Landrum J. H. // Bull. Amer. Phys. Soc. — 1972. — V. 17. — P. 906.
17. Wiedenbeck M. L. // Phys. Rev. — 1945. — V. 67. — P. 92.
18. Hole N. // Arkiv. Mat. Astron. Fysik. — 1948. — V. 36A. — N 9.
19. Helmholtz A. S., Hayward R. W., McGinnis C. L. // Phys. Rev. — 1949. — V. 75. — P. 1469; A; см. также [5].
20. Bornemisza-Pauspertl P., Karolyi J., Peto G. // ATOMKI Kozlemen. — 1968. — V. 10. — P. 112.
21. Nemeth Zs. e. a. // Intern. J. Appl. Radiat. Isot. — 1987. — V. 38. — P. 63.
22. Xiao-qiong Wen e. a. // Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. — 1997. — V. A379. — P. 478.
23. Kafala S. F., MacMahon T. D., Gray P. W. // Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. — 1994. — V. A339. — P. 151.
24. Maier A. // Helv. Phys. Acta. — 1957. — V. 30. — P. 611.

25. **Liskien H.** // Nucl. Phys. — 1968. — V. A118. — P. 379.
26. **Smend F., Weirauch W., Schmidt-Ott W.-D.** // Z. Phys. — 1968. — V. 214. — P. 437.
27. **Emery J. F. e. a.** // Nucl. Sci. Eng. — 1972. — V. 48. — P. 319.
28. **Lagoutine F., Legrand J., Bac C.** // Intern. J. Appl. Radiat. Isot. — 1978. — V. 29. — P. 269.
29. **Houtermans H., Milosevic O., Reichel F.** // Intern. J. Appl. Radiat. Isot. — 1980. — V. 31. — P. 153.
30. **Hoppes D. D. e. a.** // NBS Special Publ. — 1982. — V. 626. — P. 85.
31. **Walz K. F., Debertain K., Schrader H.** // Intern. J. Appl. Radiat. Isot. — 1983. — V. 34. — P. 1191.
32. **Rutledge A. R., Smith L. V., Merritt J. S.** // Intern. J. Appl. Radiat. Isot. — 1986. — V. 37. — P. 1029.
33. **Unterweger M. P., Hoppes D. D., Schima F. J.** // Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. — 1992. — V. A312. — P. 349.
34. **Schönfeld E.** // Appl. Rad. Isot. — 1998. — V. 49. — P. 1353.
35. **Audi G., Wapstra A. H.** // Nucl. Phys. — 1995. — V. A595. — P. 409.
36. **McGinnis C. L.** // Phys. Rev. — 1951. — V. 81. — P. 734.
37. **Шевелев Г. А., Троицкая А. Т., Карташов В. М.** // Изв. АН СССР, сер. физ. — 1975. — Т. 39. — С. 2038.
38. **Sparrman P. e. a.** // Z. Phys. — 1966. — V. B192. — P. 439.
39. **Heath R. L.** // ANCR — 1000—2, 1974.
40. **Steffen R. H.** // Phys. Rev. — 1956. — V. 103. — P. 116.
41. **Kreische W., Lampert W.** // Z. Phys. — 1974. — V. 266. — P. 51.
42. **Kawada Y., Hino Y.** // Nucl. Instrum. Meth. — 1985. — V. A241. — P. 199.
43. **Budz-Jorgensen C.** // Phys. Rev. — 1973. — V. B8. — P. 5411.
44. **Bearden J. A.** // Rev. Mod. Phys. — 1967. — V. 39. — P. 78.
45. **Larkins F. P.** // Atomic Data and Nucl. Data Tabl. — 1977. — V. 20. — P. 313.
46. **Кузьменко Н. К., Недовесов В. Г., Чечев В. П.** // Измерительная техника. — 1988. — № 9. — С. 47.
47. **Кузьменко Н. К., Недовесов В. Г., Чечев В. П.** // Вопросы точности ядерной спектроскопии. — Вильнюс, 1988. — С. 156.
48. **Rüsel F. e. a.** // Atomic Data and Nucl. Data Tabl. — 1978. — V. 21. — P. 293.
49. **Helmer R. G., van der Leun C.** Recommended Standards for γ -Ray Energy Calibration. — 1997; см. также [56].
50. **Bonner e. a.** // Phys. Rev. — 1962. — V. 127. — P. 217.
51. **Flynn K. F. e. a.** // Nucl. Sci. Eng. — 1965. — V. 22. — P. 416.
52. **Kerrigan W. I.** // J. Inorgan. Nucl. Chem. — 1967. — V. 29. — P. 2657.
53. **Reynolds S. A. e. a.** // Nucl. Sci. Eng. — 1968. — V. 32. — P. 46.
54. **Lagoutine F. e. a.** // Intern. J. Appl. Rad. Isot. — 1969. — V. 20. — P. 868.
55. **Rao N. Venkateswara e. a.** // Indian. J. Phys. — 1986. — V. 60A. — P. 162.
56. **Baglin C. M.** // Nucl. Data Sheets. — 1996. — V. 77. — N 1. — P. 125.
57. **Pich J., Zderadicka J., Kokta L.** // Czechosl. J. Phys. — 1973. — V. 23. — N 4. — P. 1181.
58. **Гейдельман А. М. и др.** // Тез. докл. XXXVII совещ. по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Юрмала, 14—17 апреля 1987 г. — Л: Наука. Ленингр. отд-ние, 1987. — С. 133.
59. **Kempisty T. e. a.** // Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. — 1990. — V. A286. — P. 535.
60. **Mohan S.** // Phys Rev. — 1970. — V. C1. — N 1. — P. 254.
61. **Mehta D. e. a.** // Nucl. Instrum. Meth. — 1985. — V. A242. — N 1. — P. 149.
62. **Chupp E. L. e. a.** // Phys Rev. — 1958. — V. 112. — P. 518.
63. **Hansen H. H., Hellström S.** // Z. Phys. — 1969. — Bd. 223. — S. 139.
64. **Nilsson O. e. a.** // Nucl. Phys. — 1968. — V. A120. — P. 561.
65. **Dingus R. S. e. a.** // Nucl. Phys. — 1966. — V. 83. — P. 545.
66. **Nelson G. C., Hatch E. N.** // Nucl. Phys. — 1969. — V. A127. — P. 560.
67. **Campbell J. L. e. a.** // Nucl. Instrum. Meth. — 1971. — V. 92. — P. 237.
68. **Rao N. Venkateswara e. a.** // J. Phys. (London). — 1986. — V. G12. — P. 45.