

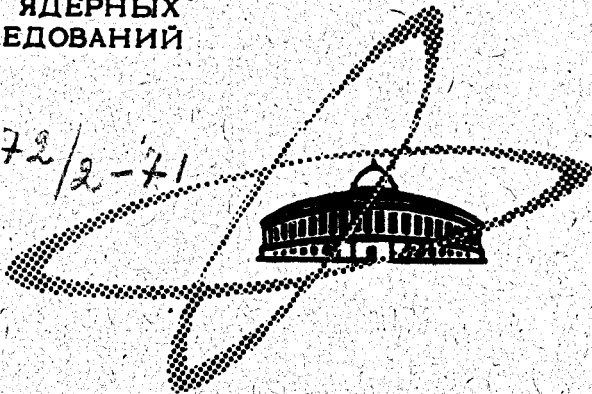
В-123

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

572/2-71

Р6 - 5484



Я. Ваврышук, В.А. Морозов, Т.М. Муминов,
В.И. Разов, Я. Сажинский

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕН ЖИЗНИ
ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ
С ЭНЕРГИЕЙ 155,8 И 227 КЭВ
В ЯДРЕ $^{155}_{65}\text{Tb}^{90}$

1970

P6 - 5484

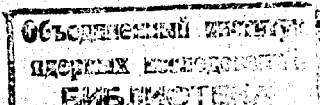
Я. Ваврышук, В.А. Морозов, Т.М. Муминов*,
В.И. Разов**, Я. Сажинский

ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕН ЖИЗНИ
ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ
С ЭНЕРГИЕЙ 155,8 И 227 КЭВ
В ЯДРЕ $^{155}_{65}\text{Tb}^{90}$

Направлено в ЯФ

* Самаркандский государственный университет.

** Дальневосточный государственный университет
(Владивосток).



Ваврышук Я., Морозов В.А., Муминов Т.М., Разов В.И., Р6-5484
Сажинский Я.

Измерение времен жизни возбужденных состояний с энергией
155,8 и 227 кэв в ядре ${}_{65}^{155}\text{Tb}_{90}$

Методом задержанных $e-\gamma$ совпадений измерены периоды полу-
распада возбужденных состояний с энергией 155,8 и 227 кэв в ядре ${}_{65}^{155}\text{Tb}$.

Рассчитаны внутренний квадрупольный момент и параметр деформации
основного состояния ядра ${}_{65}^{155}\text{Tb}$.

Определены факторы запрета по одночастичной модели, по модели
Нильссона и по модели Нильссона с учётом сверхтекучей поправки для
переходов, разряжающих состояние 227 кэв.

**Препринт Объединенного института ядерных исследований.
Дубна, 1970**

Vavryschuk Ya., Morosov V.A., Muminov T.M., Р6-5484
Razov V.I., Sazhinsky Ya.

Measurement of Half-Lives of the Excited States
with the Energy of 155.8 and 227 keV
in the ${}_{65}^{155}\text{Tb}_{90}$ Nucleus

The half-lives of 155.8 and 227 keV excited levels of the
 ${}_{65}^{155}\text{Tb}$ nucleus were measured by the $e-\gamma$ delayed coincidence
method.

Intrinsic quadrupole moment and the deformed parameter of
the ground state of the ${}_{65}^{155}\text{Tb}$ nucleus were calculated.

The hindrance factor is determined for the single-particle mo-
del, for the Nilsson model and for the Nilsson model with the super-
fluid correction for the transitions discharging the 227 keV state.

**Preprint. Joint Institute for Nuclear Research.
Dubna, 1970**

В в е д е н и е

В данной работе методом задержанных $e - \gamma$ - совпадений измерены периоды полураспада возбужденных состояний с энергией 155,8 и 227 кэв, принадлежащих $^{155}_{65}\text{Tb}_{90}$.

Период полураспада состояния 155,8 кэв измерен нами впервые, значение периода полураспада состояния 227 кэв уточнено. По значениям приведенных вероятностей для переходов внутри ротационной полосы основного состояния $^{155}_{65}\text{Tb}_{90}$ рассчитаны внутренний квадрупольный момент, параметр деформации и магнитный момент ядра. Для переходов, разряжающих состояние 227 кэв, подсчитаны факторы запрета по одночастичной модели, по модели Нильссона и по модели Нильссона с учётом сверхтекучих поправок.

Экспериментальная часть

Для измерений нами использовался препарат $^{155}_{66}\text{Dy}_{89}$, полученный после 40 мин накопления повторным выделением из фракции гольмия.

Гольмиевая фракция получалась в реакции глубокого расщепления танталовой мишени при облучении ее протонами с энергией $E_p = 660$ Мэв на синхротроне ОИЯИ с последующим хроматографическим разделением продуктов реакции. Кроме изотопа ${}_{70}^{155}\text{Dy}$, в источнике могли присутствовать изотопы диспрозия с A от 153 до 157, но они не мешали измерениям вследствие малого выхода этих изотопов.

Измерения проводились на многоканальном временном анализаторе с преобразователем "время-амплитуда", созданным на базе магнитно-линзового бета-спектрометра типа спектрометра Герхольма /1/ в режиме задержанных $e^- \gamma$ -совпадений. Разрешающая способность спектрометра в данном опыте была равна $R = 3\%$ при светосиле $\eta = 4\%$. Для измерения периодов полураспада состояний 155,8 и 227 кэв в гамма-канале был взят участок энергетического спектра $250 + 900$ кэв.

С помощью магнитного бета-спектрометра выделялись электроны с энергией $E_e = 38$ кэв ($K - 90,4 +$ электрон Оже) и электроны с энергией $E_e = 175$ кэв ($K - 227$ кэв). Для каждого исследуемого каскада снимались кривые мгновенных совпадений на источнике ${}^{60}\text{Co}$.

Кривые распада, связанные с совпадениями ($E_e = 38$ кэв, $E_\gamma = 250 + 900$ кэв) и ($E_e = 175$ кэв, $E_\gamma = 250 + 900$ кэв), участки спектров конверсионных электронов и фрагмент схемы распада

${}_{88}^{155}\text{Dy}$ приведены на рисунке. Присутствие мгновенной части в кривой распада состояния 155,8 кэв обусловлено совпадениями элект-

ронов Оже с гамма-переходами с вышележащих состояний ($T_{1/2} \leq 0,1.10$ сек). Экспоненциальная часть этой кривой обусловлена совпадениями (К-90,4) ($E_{\gamma} = 250 + 900$ кэв). Обработка экспериментальных кривых проводилась по методу наименьших квадратов (для экспоненциальной кривой) и по методу моментов. При этом получено:

$$T_{1/2} \text{ эксп.} = (1,16 \pm 0,07) \cdot 10^{-9} \text{ сек для уровня } 155,8 \text{ кэв,}$$

$$T_{1/2} \text{ эксп.} = (3,06 \pm 0,22) \cdot 10^{-10} \text{ сек для уровня } 227 \text{ кэв.}$$

Погрешность определения $T_{1/2}$ включает в себя, кроме статистической ошибки, ошибку калибровки временного анализатора.

Анализ результатов эксперимента

При анализе экспериментальных результатов мы исходили из схемы распада ${}_{88}^{155}\text{Dy}_{89}$, предложенной в работе ^{/2/}. Данные об интенсивностях и мультипольностях гамма-переходов, разряжающих состояния 155,8 и 227, взяты нами из работ Звольского ^{/3/}, Гнатовича и др. ^{/4/}.

а) Уровень 155,8 кэв

Уровень 155,8 кэв принадлежит к ротационной полосе основного состояния ядра ${}_{85}^{155}\text{Tb}_{90}$ (инерционный параметр $A = \frac{\hbar^2}{2J} = 13,29 \text{ кэв}^{/4/}$). Данное состояние разряжается двумя переходами с $E_{\gamma} = 90,4 \text{ кэв}$

и $E_\gamma = 155,8$ кэв, первый из которых представляет смесь мультипольностей $M1 + 5\% E2^{1/4}$, второй - чистый переход типа $E2^{1/4}$. Парциальные периоды полураспада были рассчитаны нами по формулам

$$T_{1/2}^Y(E2) = T_{1/2} (1 + a_{\text{tot}}) (1 + \delta^{-2}) R_i^{-1},$$

$$T_{1/2}^Y(M1) = T_{1/2} (1 + a_{\text{tot}}) (1 + \delta^2) R_i^{-1}.$$

Здесь $a_{\text{tot}} = [a(M1) + \delta^2 a(E2)] \frac{1}{1 + \delta^2}$ - полный коэффициент внутренней конверсии, рассчитанный по таблицам^{/5/} с учётом вклада от K-L-M-оболочек. R_i^{-1} - коэффициент разрядки уровня по данному переходу, определенный нами как

$$R_i^{-1} = 1 + \delta_{mi} \sum \frac{I_n^Y (1 + a_{\text{tot}}^m)}{I_i^Y (1 + a_{\text{tot}}^i)},$$

где δ_{mi} - символ Кронекера; $\delta_{mi} = \begin{cases} 0 & m = i \\ 1 & m \neq i \end{cases}$; I^Y - относительная интенсивность соответствующего гамма-перехода.

По значению $T_{1/2}^Y(E2)_{\text{эксп.}}$ для перехода с $E_\gamma = 90,4$ кэв нами определено значение вероятности $E2$ -перехода по формуле

$$B(E2) = \frac{56.3}{T_{1/2}^Y(E2)_{\text{сек}} E_\gamma^5 \text{ кэв}} e^2 b^2.$$

Откуда по известным формулам /6/

$$Q_0 = \sqrt{\frac{16\pi}{5} \frac{B(E2)}{[C_{j_1 m_2 20}^{j f m_1}]^2} b}$$

(здесь $C_{j_1 m_2 20}^{j f m_1}$ - коэффициент Клебша-Кордона) и

$$\delta = \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 10^2 Q^0}{1,44 Z A^{2/3}}} - 1$$

определены значения внутреннего квадрупольного момента Q_0 ^{эксп.}

и параметра деформации δ ^{эксп.} основного состояния ядра ${}_{65}^{155}\text{Tb}_{90}$.

По значению $T_{1/2}(M1)$ для перехода $E_\gamma = 90,4$ кэв определено значение $B(M1)$ ^{эксп.} по формуле

$$B(M1)_{\text{эксп.}} = \frac{3,96 \cdot 10^{-5}}{T_{1/2}^{\gamma}(M1) E_\gamma^3} \left[\frac{e\hbar^2}{2mC} \right]^2,$$

откуда найдена величина /6/

$$g_K - g_R = + \sqrt{\frac{4\pi}{3} \frac{(I+1)(2I+3) B(M1)}{K^2(I+1+K)(I+1-K)}} \left[\frac{e\hbar}{2mC} \right].$$

Величина гироманнитного отношения коллективного движения g_R определяется в обобщенной модели как $g_R \leq \frac{Z}{A}$ и равна 0,42 для ядра ${}_{65}^{155}\text{Tb}_{90}$. Из данных работы /7/ значения g_R у ядер с $A=155$ лежат в пределах $0,27 \leq g_R \leq 0,47$. Принимая $g_R = 0,36 \pm 0,08$, мы определили значение гироманнитного отношения внутреннего движения - g_K ,

По формуле для расчёта магнитного момента основного состояния ротационной полосы с моментом I_0 /6/ $\mu_0 = \frac{I_0}{I_0 + 1} [\kappa_K I_0 + \kappa_R]$ нами оценены граничные значения магнитного момента μ_0 .

Результаты вычислений, сделанных по приведенным выше формулам, сведены в табл. 1

Таблица 1

Значения $T_{1/2}$, $B(\sigma L)$ ^{эксп.}; Q_0 ^{эксп.}; δ ^{эксп.}; μ_0 ^{эксп.}; μ_0 ^{теор.} для переходов, разряжающих состояние 155,8 кэВ в ядре $^{155}_{88}Tb_{60}$

Е уровня (кэВ)	155,8	
Е _γ (кэВ)	90,4	155,8
$T_{1/2}$ ^{эксп.} (сек)	$(1,16 \pm 0,07) \cdot 10^{-9}$	
$I_1 K_1^{\pi 1} [N_{\pi Z} \Lambda] \Sigma_1$	$7/2 \ 3/2^+ / 411/\uparrow$	
$I_2 K_2^{\pi 1} [N_{\pi Z} \Lambda] \Sigma_1$	$5/2 \ 3/2^+ / 411/\uparrow$	$3/2 \ 3/2^+ / 411/$
σL	M1 + 5% E2	E2
δ^2	0,053	1
a_{tot}	2,393	0,136
R_1^{-1}	$1,032 \pm 0,26$	$32,6 \pm 8,2$
$B(E2)$ ^{эксп.} (e^2 барн. ²)	$1,08 \pm 0,27$	$0,15 \pm 0,04$
$B(M1)$ ^{эксп.} $\left(\frac{e\hbar}{2mc}\right)^2$	$(2,2 \pm 0,55) \cdot 10^{-3}$	
Q ^{эксп.} (барн)	$7,15 \pm 0,88$	
δ ^{эксп.}	$0,24 \pm 0,03$	
κ_{K_1} ^{эксп.}	κ_{K_1} ^{эксп.} = 0,752	κ_{K_2} ^{эксп.} = +0,032
μ_0 $\left[\frac{e\hbar}{2mc}\right]$	$0,9 \pm 0,2 \geq \mu_0 \geq$	$0,049 \pm 0,012$
μ_0 ^{теор.} $\left(\frac{e\hbar}{2mc}\right) / 8,9/$	0,75	

По величине Q_0 нами была определена вероятность E2-перехода с энергией $E_\gamma = 65,4$ кэв, разряжающего первое состояние ротационной полосы основного состояния ядра $^{155}_{65}\text{Tb}_{90}$. С помощью $V(E2)$ для этого перехода оценен период полураспада $T_{1/2}$ состояния $5/2^- \rightarrow 3/2^+ / 411 / \text{т}$ $E_\gamma = 65,4$ кэв: $T_{1/2} = (3,35) \times 10^{-9}$ сек.

б) Состояние 227 кэв $5/2^- \rightarrow 5/2^- / 532 / \text{т}$

Период полураспада состояния 227 кэв в ядре $^{155}_{65}\text{Tb}_{90}$ был определен в работах $/3,10,11/$. Полученное нами значение $T_{1/2}$ находится в лучшем согласии с данными работ $/10,11/$.

Мультипольность переходов, разряжающих состояние 227 кэв $5/2^+ / 532 / \text{т} \rightarrow 3/2^+ / 411 / \text{т}$, определена в работе $/4/$ как E1. Таким образом, принимая мультипольность типа E1 для переходов с энергией 161,4 и 227 кэв, мы рассчитали экспериментальные значения парциальных периодов полураспада: $T_{1/2}(E1)$.

Пользуясь значениями $T_{1/2}(E1)_{\text{эксп.}}$ для переходов 161,4 и 227 кэв, мы рассчитали факторы запрета по Мошковскому: $F_M = \frac{V(E1)_M}{V(E1)_{\text{эксп.}}}$; (значения $V(E1)_M$ получены с учетом статистического множителя $S_1(I_1, L, I_2)$ и "эффективного" заряда ϵ_1);

по Нильссону: $F_N = \frac{V(E1)_N}{V(E1)_{\text{н. эксп.}}}$;

по Нильссону с учетом сверхтекучей поправки R_N^γ :

$$F_N R_N^\gamma$$

При расчётах этих величин значения $V(E1)_N$ и R_N^γ взяты из таблиц $/8/$.

Значения $V(E1)_{\text{эксп.}}$, F_{M1} , F_N , R_N^γ приводятся в таб. 2.

Таблица 2

Значения $V(E1)_{\text{эксп.}}$ и факторы запрета для вероятностей электромагнитных переходов, разряжающих состояние $5/2 \ 5/2^- / 532 / \uparrow$ 227 кэВ в ядре ${}_{85}^{185}\text{Tb}_{90}$

E уровня (кэВ)	227	
E_{γ} (кэВ)	161,4	227
$T_{1/2}$ $_{\text{эксп.}}$ (сек)	$(3,06 \pm 0,22) \cdot 10^{-10}$	
$I_i K_i^{\pi_i} [N_{\pi_z} \Lambda] \Sigma_i$	$5/2 \ 5/2^- / 532 / \uparrow$	
$I_f K_f^{\pi_f} [N_{\pi_z} \Lambda] \Sigma_f$	$5/2 \ 3/2^+ / 411 / \uparrow$	$3/2 \ 3/2^+ / 411 / \uparrow$
σL	E1	E1
α_{tot}	0,08	0,033
R_i^{-1}	58 ± 34	$1,017 \pm 0,62$
$V(E1)_{\text{эксп.}} / e^2 \text{ барн}^2$	$(5,5 \pm 3,3) \cdot 10^{-8}$	$(1,18 \pm 0,70) \cdot 10^{-4}$
F_M	$(1 \pm 0,6) \cdot 10^4$	$(6,5 \pm 3,4) \cdot 10^2$
F_N	$(7,6 \pm 4,5)$	$(3,5 \pm 2,2) \cdot 10^{-1}$
$F_N R_N^{\chi}$	$(6,8 \pm 4,0)$	$(3,2 \pm 1,91) \cdot 10^{-1}$

Переходы типа E1 между состояниями $5/2^- / 532 / \uparrow \rightarrow 3/2^+ / 411 / \uparrow$ запрещены по асимптотическому квантовому числу n_z ($\Delta n_z = 2$). Из систематики экспериментальных значений вероятностей E1 -перехо-

дов ($\Delta K = 1$) известно, что запрет по одному из асимптотических квантовых чисел приводит к задержке вероятностей E1 -переходов примерно в 10^2 раз на единицу запрета по сравнению с одночастичными оценками.

Как видно из табл. 2, запрет для вероятностей E1 -переходов, по оценкам Мошковского, составляет $F_M = 1 \cdot 10^4$ для переходов 161,4 кэВ и $F_M = 6,5 \cdot 10^2$ для перехода 227 кэВ. Расчет вероятностей E1 -переходов по модели Нильссона с учётом сверхтекучей поправки и без нее улучшает согласие теории с экспериментом, хотя остается некоторая заторможенность для данных переходов.

На основе анализа экспериментальных результатов, полученных при измерениях периодов полураспада возбужденных состояний ядра ${}_{85}^{155}\text{Tb}_{90}$, можно сделать следующие заключения:

1. Ядро ${}_{85}^{155}\text{Tb}_{90}$ является сильно деформированным $\delta_{\text{эксп.}} = 0,24 \pm 0,03$.
2. Из величины деформации δ следует, что основное состояние ядра ${}_{85}^{155}\text{Tb}_{90}$ имеет квантовые характеристики $3/2^+ / 411/\uparrow$.
3. Уровень $3/2^- / 411/\uparrow$ с $E = 155,8$ кэВ относится к ротационной полосе основного состояния.

$$A = \frac{\hbar^2}{2J} = 13,29 \text{ кэВ,}$$

$$Q^{\text{эксп.}} = (7,15 \pm 0,88) \text{ барн,}$$

$$\mu_0^{\text{эксп.}} = (0,8 \pm 0,1).$$

Значения внутреннего квадрупольного электрического момента Q и магнитного момента для ${}_{85}^{155}\text{Tb}_{90}$ хорошо описываются обобщенной моделью ядра.

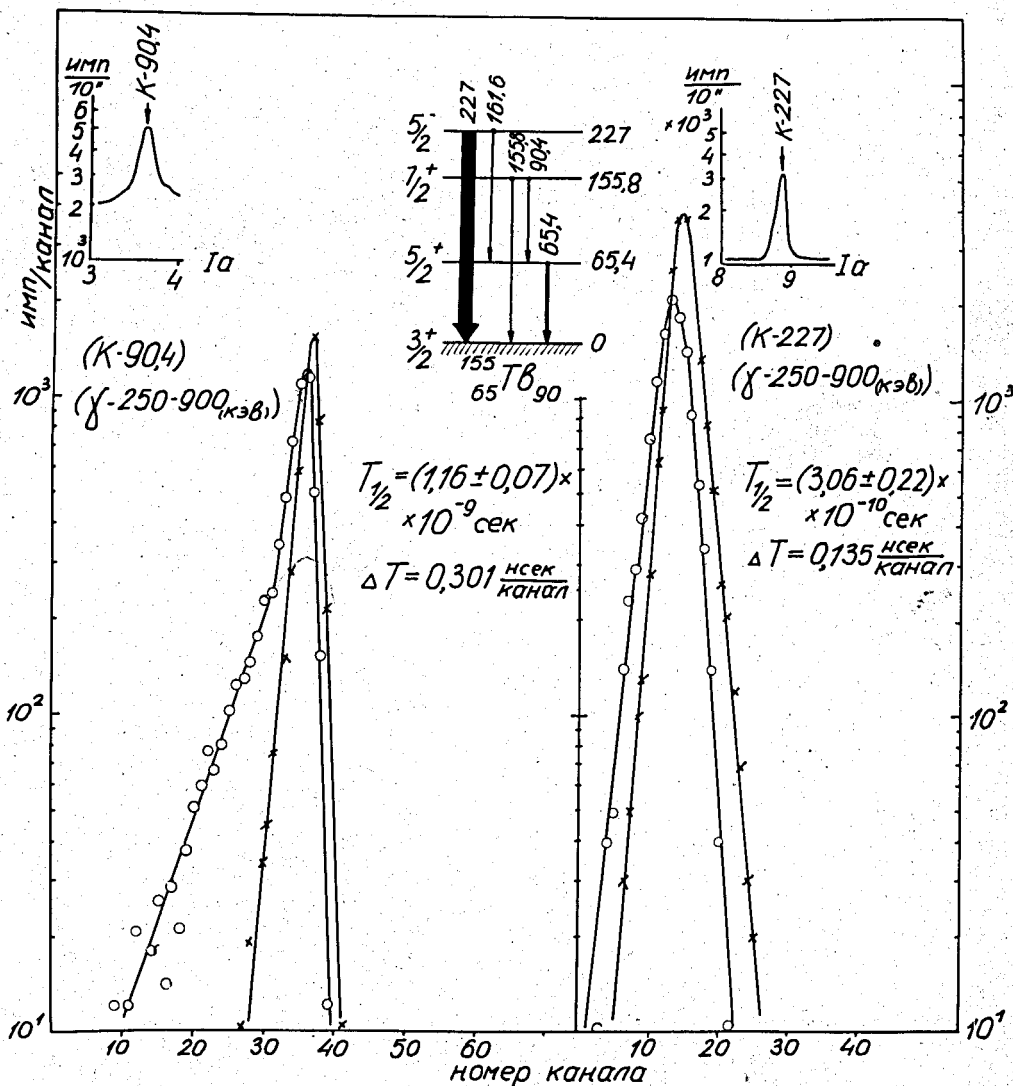
4. Состояния $5/2^- / 532/\uparrow$ и $3/2^- / 411/\uparrow$ можно считать одночастичными нильссоновскими состояниями.

В заключение авторы выражают благодарность доктору физико-математических наук К.Я. Громову за интерес к работе.

Литература

1. В.А. Морозов, Т.М. Муминов. Препринт ОИЯИ, P13-3437, Дубна, 1967.
2. В.Н. Blichert-Toft, E.G. Funk, J.W. Mibelich. Nucl.Phys., A100, 396 (1967).
3. И. Звольски. Автореферат диссертации, 1700, Дубна, 1963.
4. В. Гнатович, К.Я. Громов, Ф.Н. Мухтасимов. Препринт ОИЯИ, P2-2729, Дубна, 1966.
5. Nuclear Data, vol. 4, No 1-2, 1968.
6. Сборник "Гамма-лучи". Изд. АН СССР, гл. 1, 1961.
7. А. Хрынкевич, С. Огаза. Сборник Структура сложных ядер, Атомиздат, М., 1966.
8. Р.Б. Бегжанов, В.М. Беленький, Р.Х. Сафаров. Численные значения приведенных вероятностей электромагнитных переходов на основе модели Нильссона. Изд. ФАН УзССР, Ташкент, 1967.
9. S.G. Nilsson, O. Priör. Mat. Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk, 29, No 16, (1961).
10. J. Hauser, G. Knissel. Phys. Lett., 24B, 232 (1967).
11. П. Бедроян, А.С. Кучма, В.А. Морозов. ЯФ, 4, 905 (1966).

Рукопись поступила в издательский отдел
27 ноября 1970 года.



Кривые распада состояний с энергией 155,8 и 227 кэВ в ядре ¹⁵⁵Tb .

o - ¹⁵⁵Tb, x - ⁶⁰Co .