

О РАСПАДЕ ^{158}Tb :
НЕВОЗМОЖНОСТЬ "НЕЙТРИННОГО БАЛАНСА"

В.Б.Бруданин, Ш.Бриансон,¹ Р.Вален,¹ Ц.Выллов,
В.М.Горожанкин, К.Я.Громов, А.Маринов,
А.Ф.Новгородов, В.Н.Покровский, Н.И.Рухадзе,²
В.Т.Сидоров

С помощью полупроводниковых детекторов уточнены энергии возбужденных состояний ^{158}Gd и ^{158}Dy , заселяемых при распаде ^{158}Tb . Методом Хут-совпадений показано отсутствие ультранизкоэнергетической ветви К-захвата на уровень 1187 кэВ (^{158}Gd), что исключает возможность "нейтринного баланса" в этом распаде. Этот вывод подтверждается и анализом вероятностей К-захвата на уровни 1023 и 1041 кэВ, дающим для разности масс $^{158}\text{Tb} - ^{158}\text{Gd}$ значение $Q = 1212_{-8}^{+10}$ кэВ.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

On ^{158}Tb Decay:
Impossibility of "Neutrino Balance"

Brudanin V.B. et al.

With the help of semiconductor detectors a more precise determination of the energies of ^{158}Gd and ^{158}Dy excited states populated at the decay of ^{158}Tb has been made. By the use of Хут-coincidence method the absence of an ultralow-energy К-capture branch to the state at 1187 keV (^{158}Gd) was shown. That excludes the possibility of "neutrino balance" in this decay. This conclusion was confirmed by the analysis of the probabilities of the К-capture to the states at 1023 and 1041 keV, which gives the value of $Q = 1212_{-8}^{+10}$ keV for the mass difference of $^{158}\text{Tb} - ^{158}\text{Gd}$.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Как известно, одной из возможностей определения массы нейтрино является изучение вероятности электронного захвата с малыми энергиями распада. Действительно, изменение

¹ ЦЯСМС, Орсэ, Франция

² Тбилисский государственный университет

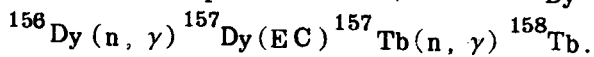
вероятности электронного захвата, обусловленное наличием конечной массы у нейтрино, связано с уменьшением фазового объема и пропорционально величине $(1 - m_\nu^2/Q_i^2)^{1/2}$, где m_ν — масса нейтрино, $Q_i = Q - \epsilon_i$, Q — энергия бета-распада, а ϵ_i — энергия связи электрона i -й оболочки атома.

В распаде ^{163}Ho , в случае, наиболее благоприятном из бета-переходов между основными состояниями ядер, на основании вероятности М-захвата в последнее время были получены оценки $m_\nu < 1,3 \text{ кэВ}^{1,2/}$ и $m_\nu = (245 \pm 500) \text{ эВ}^{3/}$. Отметим, что эти пределы значительно выше современной оценки для массы электронного антинейтрино $m_{\bar{\nu}} = 30 \text{ эВ}^{4/}$, и основным фактором, ограничивающим чувствительность в этом случае, является относительно высокая величина Q ($Q = 2,56 \pm 0,27 \text{ кэВ}^{3/}$).

Одной из возможностей повышения чувствительности эксперимента является поиск случаев, например, К-захвата на возбужденные состояния ядер E^* с малыми значениями $Q_k = Q - E^* - \epsilon_k$. В табл.1, составленной на основании данных ^{5,6/}, приведены сведения о нуклидах, в распадах которых не исключено существование ветвей К-захвата с малыми величинами Q_k . Заметим, что для нуклидов ^{153}Gd , ^{158}Tb и ^{173}Lu подобные ветви представляются менее вероятными. Однако первое сообщение об обнаружении ветви К-захвата с ультранизкой энергией $Q_k = 156 \pm 17 \text{ эВ}^{7/}$ относится именно к распаду ^{158}Tb , схема которого приведена на рис.1. Несколько позже, правда, появилось сообщение ^{8/}, косвенно указывающее на ошибочность этого результата, который противоречит энергетическому балансу, сделанному на основе анализа совокупности экспериментальных данных об энергиях ядерных реакций и разностях масс нуклидов.

Учитывая важность вывода работы ^{7/}, мы провели новый эксперимент по уточнению значений энергии уровней ^{158}Gd и измерению $X \gamma t$ -совпадений при распаде ^{158}Tb .

Нуклид ^{158}Tb был получен в реакции двойного захвата тепловых нейтронов обогащенным ^{156}Dy



После облучения ^{156}Dy в течение полугода относительное содержание изотопов в мишени составило $^{157}\text{Tb}/^{158}\text{Tb} = 6,3 \pm 0,3$. В результате разделения изотопов мишени с помощью электромагнитного масс-сепаратора был изготовлен источник ^{158}Tb (0,62 мкКи), примесь ^{157}Tb в котором уже не превышала 1%.

Измерения спектров гамма-квантов ^{158}Tb были проведены с помощью Ge(Li)-детекторов: планарного (200 мм² x 5 мм) и коаксиального (объемом 100 см³) с энергетическим

Таблица 1

НУКЛИД	$T_{1/2}$	E^* , кэВ	Q , кэВ	$Q-E^*-\epsilon_k'$, кэВ	$I_i - I_f$	%	I_γ , %
^{153}Gd	241,6(2)д	173	243,9(20)	22(2)	$3/2^- \rightarrow 5/2^+$	15	0,17
^{158}Tb	150(30)л	1187	1216,0(18)	-21(2)	$3^- \rightarrow 2^+$	3,8	1,6
^{173}Lu	499(5)д	636	675,1(27)	-22(3)	$7/2^+ \rightarrow 7/2^-$	1,7	0,75
^{128}Ba	2,43(5)д	375	453(21)	42(21)	$0^+ \rightarrow 0,1$	0,4	0,3
^{174}Lu	3,31(5)л	1318	1378,5(27)	-1,1(27)	$1^- \rightarrow 2^-$	6	0,04
^{188}Pt	10,2(3)д	478	535(9)	-19(9)	$0^+ \rightarrow 1^+$	13,7	1,9

Примечание: % — доля электронного захвата в процентах.

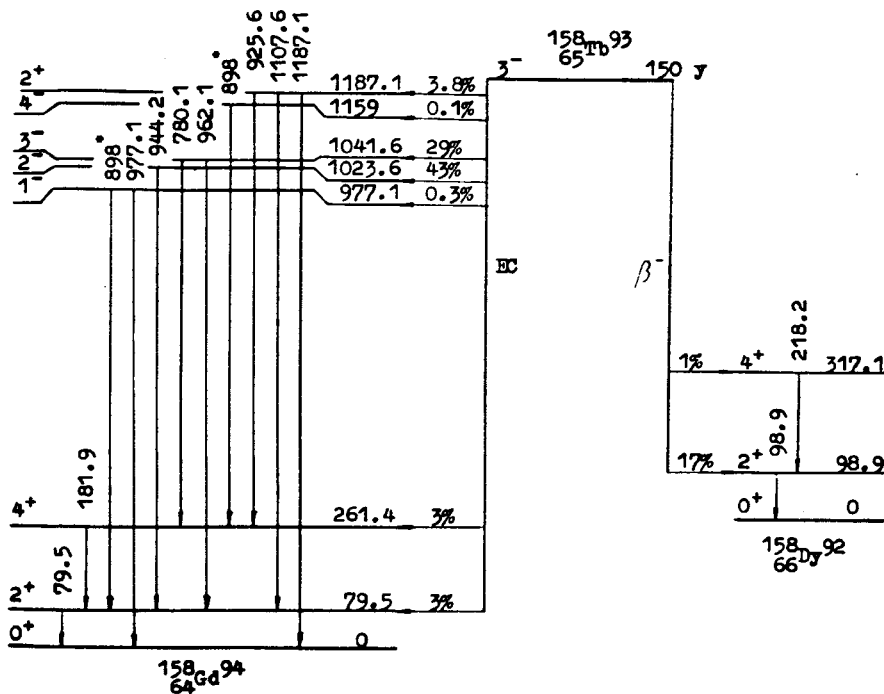


Рис.1. Схема распада ^{158}Tb .

разрешением 0,6 кэВ (для линии 122,06 кэВ ^{57}Co) и 2,0 кэВ (для линии 1332,51 кэВ ^{60}Co) соответственно. Энергетическая калибровка спектрометров, согласно ^{9/}, осуществлялась в предположении $E_{\gamma} (^{198}\text{Au}) = 411,8044(11)$ кэВ ^{10/}. Значения энергии уровней ^{158}Gd и ^{158}Dy , возбуждаемых в распаде ^{158}Tb , согласуются по результатам измерений (табл.2), согласуются с данными наиболее полной работы ^{11/} и имеют значительно меньшие погрешности.

Спектры $X_{\gamma t}$ -совпадений исследовались с помощью спектрометра амплитудно-временных измерений, аналогичного описанному в ^{12/}, и коды зарегистрированных событий записывались на магнитную ленту. Регистрация гамма-квантов (канал "старт") осуществлялась с помощью HPGe-детектора объемом 70 см³ фирмы Schlumberger, а рентгеновских KX-лучей (канал "стоп") — Ge(Li)-детектором объемом 200 мм² x 5 мм фирмы ORTEC, располагавшихся под углом 180°. Аналоговая электроника фирмы ORTEC обеспечивала высокое временное разрешение ($2\tau = 12$ нс) и хорошую временную стабильность. Фильтр из Al толщиной 400 мкм защищал Ge(Li)-детектор от попадания LX-лучей.

Таблица 2

НУКЛИД	Е, кэВ	ΔЕ, кэВ
^{158}Gd	79,513	0,001
	261,457	0,001
	1023,705	0,003
	1041,642	0,003
	1187,145	0,005
^{158}Dy	98,918	0,001
	317,139	0,004

Полученный трехмерный массив данных был обработан обычным способом с учетом фоновых и случайных совпадений. С помощью измерений одиночного спектра в тех же геометрических условиях была найдена величина

$$\frac{\Delta Y}{Y} = \left(\frac{S_{\text{KX}\gamma 944}}{S_{\gamma 944}} - \frac{S_{\text{KX}\gamma 962}}{S_{\gamma 962}} \right) / \left(\frac{S_{\text{KX}\gamma 1023\Sigma}}{S_{\gamma 1023\Sigma}} \right),$$

где $S_{\text{KX}\gamma}$ и S_{γ} — интенсивности счета совпадений в пиках $K_{\alpha} + K_{\beta}$ и γ -пика в одиночном спектре соответственно ($\gamma 1023\Sigma$ обозначает суммарный пик); как легко показать,

$$\frac{\Delta P_k}{P_k} = \frac{P_k(1023) - P_k(1041)}{P_k(1023)} = \frac{\Delta Y}{Y} \cdot (1 - a)^{-1},$$

где $P_k(E)$ — относительная вероятность К-захвата на уровень с энергией E , а — поправка, учитывающая суммирование каскадных излучений в X-детекторе и не превышающая в нашем случае нескольких процентов.

Найденное нами значение $\Delta P_k / P_k = 1,70(25) \cdot 10^{-2}$ соответствует (см. рис.2) разности масс

$$Q(^{158}\text{Tb} - ^{158}\text{Gd}) = 1212_{-8}^{+10} \text{ кэВ.}$$

Полученная оценка согласуется с данными систематики^{/8/} $Q = 1221,9 \pm 1,6$ кэВ и указывает на безусловный энергетиче-

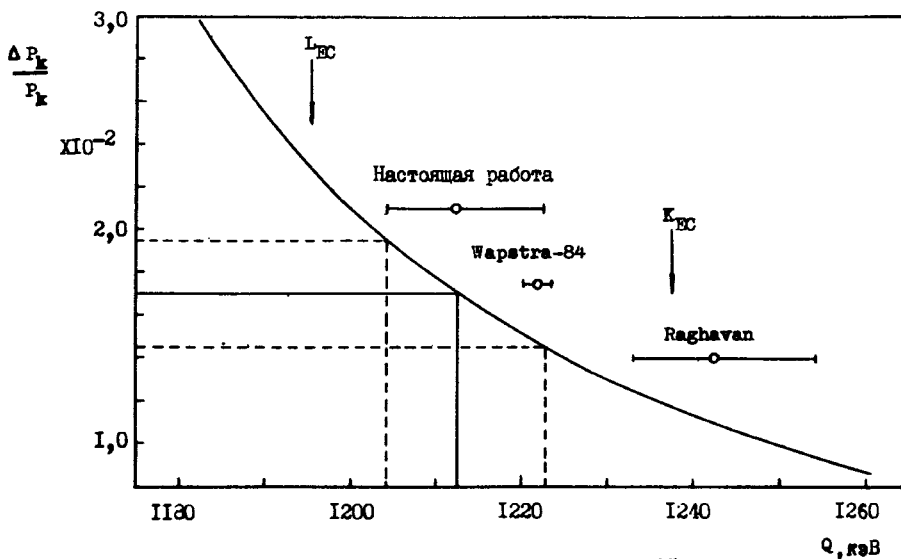


Рис.2. Сравнение значений энергий EC-распада ^{158}Tb , полученных в настоящей работе и в [6,7]. Кривая — расчетная зависимость относительного изменения вероятности K-захвата для уровней 1023,6 и 1041,6 кэВ ^{158}Tb $\Delta P_k/P_k$ от энергии распада Q . Пунктиром показан интервал полученной экспериментальной оценки $\Delta P_k/P_k$. Стрелками обозначены нижние границы энергий L- и K-захвата на уровень 1187 кэВ.

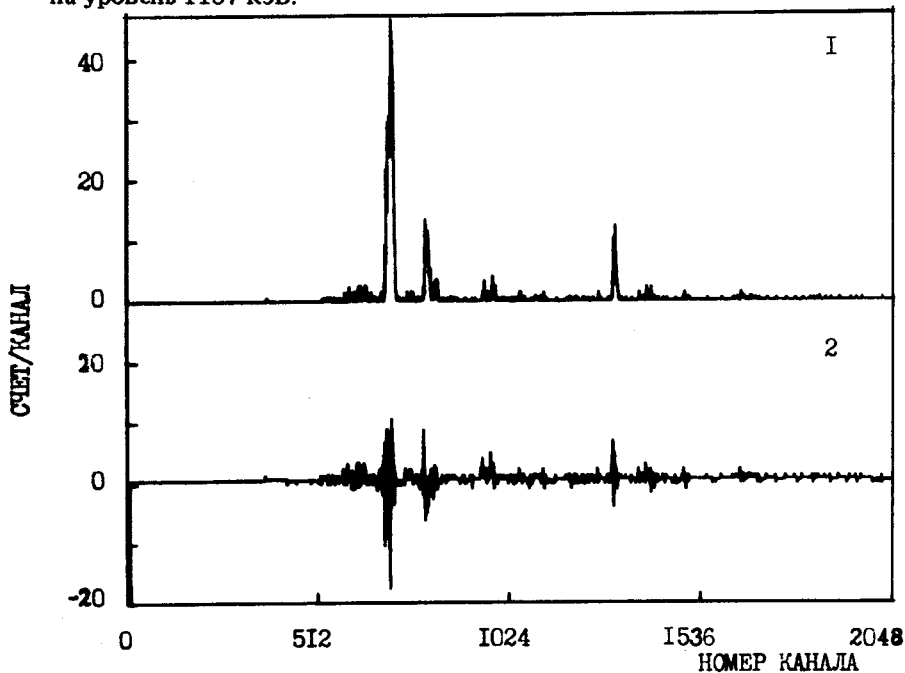


Рис.3. Спектр совпадений Kx-лучей с γ -квантами γ_{1187} кэВ. 1 — экспериментальный спектр; 2 — спектр с учетом фоновых и случайных событий.

ский запрет К-захвата на уровень с энергией 1187,1 кэВ при распаде ^{158}Tb .

Для проверки этого набор X_{yt} -совпадений был повторен без нарушения геометрического расположения с фильтром (фольги Al + Cu + Cd + Ta + Cd + Cu + Al толщиной около 1 мм каждая) перед HPGe-детектором. Такой фильтр надежно предотвращал попадание мягких излучений (в особенности, γ 79,51 кэВ) в γ -детектор, которые могли бы имитировать истинные совпадения. Полученные результаты (см. рис.3) подтверждают предположение об отсутствии К-захвата на уровень с энергией 1187,1 кэВ.

Л и т е р а т у р а

1. Andersen J.U. et al. Phys.Lett., 1982, vol.113B, p.72.
2. Yasumi S. et al. Phys.Lett., 1983, vol.122B, p.461.
3. Yasumi S. et al. Proc. of XI Int. Conf. on Neutrino and Astrophysics "Neutrino-84". Nordkirchen near Dortmund, 1984, p. 202.
4. Lyubimov V.A. et al. Proc. of the Int. Europhysics Conf. HEP-83, Brighton, 1983, p.386.
5. Lederer C.M., Shirley V.S. Table of Isotopes. New York, 1978, 7th ed.
5. Wapstra A.H. et al. The 1984 At.Mass Table. Nucl.Phys. (In press).
7. Raghavan R.S. Phys.Rev.Lett., 1983, vol.51, p.975.
8. Burke D.G. Phys.Rev., 1984, vol.29C, p.2339.
9. Вылов Ц. и др. ЭЧАЯ, 1978, т.9, вып.6, с.1350.
10. Kessler E.G. et al. Phys.Rev.Lett., 1978, vol.40, p.171.
11. Paperiello C.J. et al. Nucl.Phys., 1970, A140, p.261.
12. Бруданин В.Б. и др. ОИЯИ, 13-83-747, Дубна, 1983.

Рукопись поступила 27 марта 1985 года.