

95-415



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P6-95-415

В.М.Горожанкин, К.Я.Громов, В.Г.Калинников,
Ш.Р.Маликов, Т.М.Муминов, М.Б.Юлдашев

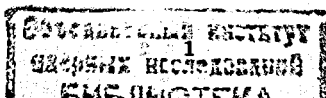
СПИН И ЧЁТНОСТЬ УРОВНЕЙ 1579 И 2165 кэВ
В $^{146}_{64}\text{Gd}_{82}$ ПРИ β -РАСПАДЕ ИЗОМЕРОВ ^{146}Tb

1995

В последние годы значительное внимание уделяется экспериментальным и теоретическим исследованиям структуры уровней ^{146}Gd и соседних с ним ядер [1]. Установлен ряд фактов, свидетельствующих о дважды магической природе $^{146}_{64}\text{Gd}_{82}$, о магичности числа протонов $Z=64$ в этом ядре. Один из важных аргументов в пользу этого заключения состоит в подобии структуры нижних возбуждённых состояний ^{146}Gd структуре возбуждённых состояний в дважды магических ядрах $^{208}_{82}\text{Pb}_{126}$, $^{132}_{50}\text{Sn}_{82}$ и др.

Так, П. Клайнхайнц и др. [2,3] изучали угловые корреляции γ -лучей при заселении и разрядке уровня 1579 кэВ в ^{146}Gd , измерили коэффициент внутренней конверсии γ -лучей 1579 кэВ и время жизни уровня 1579 кэВ. Было показано, что, как и в ^{208}Pb , первый возбуждённый уровень имеет $\Gamma^{\pi}=3^{-}$, и E3-переход с него ускорен по сравнению с одночастичными оценками более, чем в 30 раз. Р. Жулин и др. [4] измерили отношение $\alpha_{K2165}/\alpha_{K1579} > 100$ и доказали таким образом, что γ -переход 2165 кэВ в ^{146}Gd типа E0, а уровень 2165 имеет $\Gamma^{\pi}=0^{+}$. Эти результаты получены при возбуждении уровней ^{146}Gd в реакциях (α, n) [2,3] и $(^3\text{He}, 2n)$ [4]. В настоящей работе выводы о мультипольности переходов и спине и чётности уровней 1579 и 2165 кэВ получены при исследовании β -распада изомеров ^{146}Tb : $\Gamma^{\pi}=1^{+}$; $T_{1/2}=8$ с и $\Gamma^{\pi}=5^{-}$; $T_{1/2}=23$ с.

Распад изомера ^{146}Tb с $T_{1/2}=23$ с изучался стиченем и др. [5]. Обнаружен ряд γ -переходов, предложена схема распада. Интенсивность γ -лучей 1579 кэВ превосходит суммарную интенсивность других γ -лучей, наблюдаемых при распаде $^{146}\text{Tb}(23 \text{ с})$. Это позволило заключить, что γ -переход 1579 кэВ происходит в основное состояние ^{146}Gd и определяет энергию первого возбуждённого состояния. Поскольку основное состояние чётно-чётного ядра ^{146}Gd имеет $\Gamma^{\pi}=0^{+}$, мультипольность перехода 1579 кэВ однозначно определяет спин и чётность уровня 1579 кэВ.



Для измерения коэффициента внутренней конверсии γ -перехода 1579 кэВ мы использовали β -спектрометр с магнитным фильтром типа мини-апельсин [6]. Короткоживущие нейтронодефицитные нуклиды получали на экспериментальном ИЗОЛЬ-комплексе ЯСНАПП-2 [7] при облучении танталовой мишени на выведенном протонном $E_p=660$ МэВ пучке фазотрона ОИЯИ. Ионы с $A=146$ от масс-сепаратора в течение 40 с собирались на коллектор(монету) монетного автомата, затем монета сбрасывалась в измерительную позицию (положение источника) β -спектрометра, и в течение 120 с проводились измерения спектра электронов внутренней конверсии (ЭВК). Этот цикл измерений повторялся 100 раз. Расстояние от монеты-источника ЭВК до центральной плоскости тора мини-апельсина было ~25 мм, расстояние от источника до детектора - 50 мм. Для регистрации электронов использован детектор из сверхчистого германия с кристаллом объёмом 2 см³ и диаметром 18 мм. Детектор электронов был частично защищён от прямого попадания γ -лучей от источника поглотителем из вольфрама диаметром 12 мм и длиной 24 мм. Поскольку диаметр поглотителя был меньше диаметра детектора, в измеренных спектрах вместе с линиями ЭВК наблюдались линии γ -лучей. НрGe-детектор располагался в криостате с окном из титановой фольги толщиной 12 мг/см². Энергетическое разрешение детектора для ЭВК в области 1-2 МэВ было около 12 кэВ; для γ -лучей - 2,5 кэВ.

Полученный спектр представлен на рис.1. Видны линии ЭВК и γ -лучей переходов 1079 кэВ и 1579 кэВ, возникающие при распаде изомера ¹⁴⁶Tb с $T_{1/2}=23$ с, и линии ЭВК E0-перехода 2165 кэВ при распаде ¹⁴⁶Tb с $T_{1/2}=8$ с.

Для калибровки спектрометра по эффективности использованы γ -переходы с известными значениями коэффициентов внутренней конверсии (α_k), возникающие при распаде короткоживущих нуклидов ¹⁴²Eu, ¹⁴⁷Tb, ¹⁴⁹Tb и ¹⁴⁹Dy (табл.1). Спектры ЭВК и γ -лучей этих нуклидов были измерены в тех же условиях, что и спектр нуклидов с $A=146$ при соответствующем их периодам полураспада, выборе экспозиций накопления активности и измерений. Полученные в этих измерениях результаты площади пиков ЭВК - S_k и пиков γ -лучей - S_γ (табл.1) использованы для построения калибровочного графика

Таблица 1. Отношение эффективностей регистрации конверсионных электронов и γ -лучей $Z(E_k) = \frac{S_k}{S_\gamma \cdot \alpha_k} = \frac{E_k}{E_\gamma}$ на β -спектрометре с магнитным фильтром типа мини-апельсин. Определение мультипольности γ -переходов 1579 и 2165 кэВ в ¹⁴⁶Gd

Распад, $T_{1/2}$	E_γ	E_k	σ_L	$\alpha_k^* \cdot 10^{-3}$	Экспериментальные данные		
					$S_k \cdot 10^{-3}$	$S_\gamma \cdot 10^{-3}$	$Z(E_k)$
¹⁴² Eu → ¹⁴² Sm $T_{1/2}=1.2$ мин	768	722	E2	3.78	1.08(12)	2.18(6)	131(15)
	1023	977	E2	2.02	2.68(12)	1.50(5)	890(50)
¹⁴⁷ Tb → ¹⁴⁷ Gd $T_{1/2}=1.8$ мин	1397	1347	M1	1.77	2.00(13)	1.72(5)	630(50)
	1798	1748	M1	0.99	0.10(5)	0.24(2)	420(200)
¹⁴⁹ Tb → ¹⁴⁹ Gd $T_{1/2}=4.16$ мин	796	746	M1	6.73	9.80(70)	6.22(10)	225(20)
	1776	1725	E1	0.374	0.16(4)	0.86(4)	490(110)
¹⁴⁹ Dy → ¹⁴⁹ Tb $T_{1/2}=4.1$ мин	1806	1754	M1+E2	1.11	0.31(5)	0.55(3)	500(90)
	1079	1029	E2	1.99	3.8(2)	1.99(6)	955(60)
¹⁴⁶ Tb → ¹⁴⁶ Gd $T_{1/2}=23$ с	1579	1529	E3**	1.77	2.61(11)	2.55(6)	575(30)
	"	"	M1	1.33	"	"	770(40)
	"	"	M2	3.01	"	"	330(16)
	"	"	E4	3.08	"	"	330(16)
¹⁴⁶ Tb → ¹⁴⁶ Gd $T_{1/2}=8$ с	2165	2115	E0**	>500	10.2(5)	<0.03	~400

Примечание: * - α_k вычислены для указанных мультипольностей по программе, любезно предоставленной нам И.М. Банд и М.Б. Тржаковской [8];

** - Мультипольности переходов, экспериментально установленные в настоящей работе.

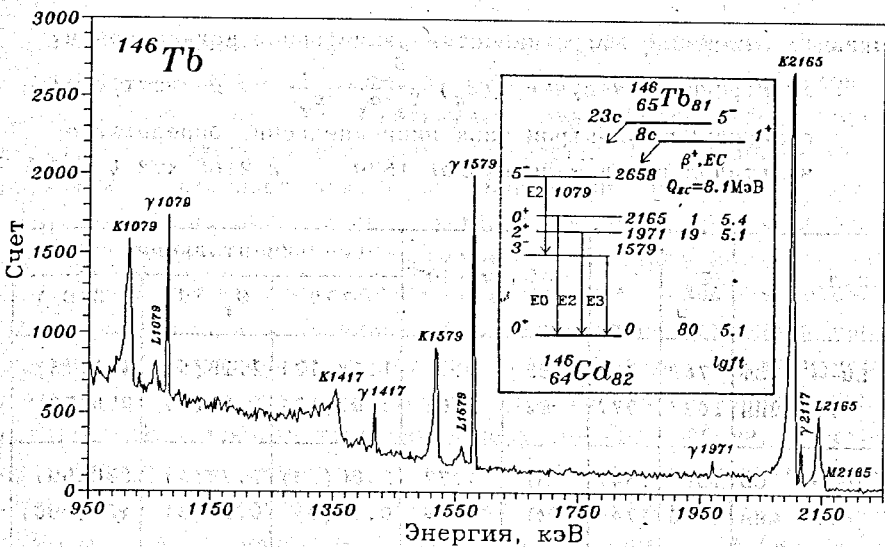


Рис.1. Спектр ЭВК и γ -лучей нейтронодефицитных нуклидов с $A=146$, измеренный с помощью β -спектрометра с магнитным фильтром типа мини-апельсин на ИЗОЛЬ-комплексе ЯСНАПП-2

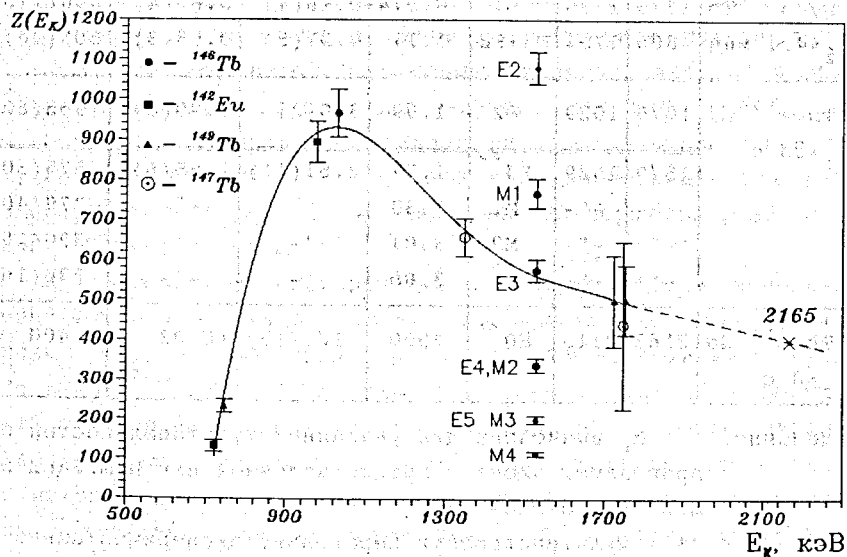


Рис.2. Зависимость $Z(E_k) = S_k / (S_\gamma \cdot \alpha_k) = \epsilon_k / \epsilon_\gamma$ для β -спектрометра с магнитным фильтром типа мини-апельсин. Определение мультипольности γ -переходов 1579 и 2165 кэВ в ^{146}Gd

(рис.2). На рисунке 2 отношения S_k/S_γ , деленные на известные значения α_k соответствующих γ -переходов, представлены в зависимости от энергии линий ЭВК. Так как $\frac{S_k}{S_\gamma \cdot \alpha_k} = Z(E_k) = \frac{\epsilon_k}{\epsilon_\gamma}$ есть отношение эффективностей регистрации ЭВК и γ -лучей детектором, то для вычисления α_k γ -перехода неизвестной мультипольности достаточно разделить измеренное отношение S_k/S_γ для этого перехода на величину $Z(E_k)$ из графика (рис.2). Указанные на рис.2 ошибки величин $Z(E_k)$ учитывают погрешности определения площадей S_k и S_γ и погрешности вычисления α_k (<2%).

Переход 1579 кэВ, как переход на уровень с $I^\pi=0^+$, должен быть по мультипольности чистым (беспримесным) переходом. В этом случае возможен и другой способ использования рис.2 для определения мультипольности перехода. Вычислим величины $Z(E_k)$ для перехода 1579 кэВ, используя экспериментальное отношение S_k/S_γ и расчетные α_k для E3, M1, M4 и E4 и других мультипольностей (см. табл. 1), и нанесем их на рис.2. Кажется очевидным, что только E3-мультипольность перехода 1579 кэВ согласуется с ожидаемой плавной зависимостью Z от E_k . Конечно, в случае смеси мультипольностей E1+M2, величина $Z(E_k)$ для перехода 1579 кэВ могла бы согласоваться с плавной кривой $Z(E_k)$, но, как отмечено выше, смесь мультиполей для перехода 1579 кэВ исключается.

Таким образом подтверждается E3-мультипольность перехода 1579 кэВ и доказано, что уровень 1579 кэВ в ^{146}Gd имеет спин 3 и отрицательную четность.

Бета-распад ^{146}Tb ; $I^\pi=1^+$; $T_{1/2}=8$ с изучался в [9,10]. Обнаружен только один γ -переход 1972 кэВ с интенсивностью 12% [9] или 19% [10] на распад, определяющий энергию возбужденного уровня 1972 кэВ, $I^\pi=2^+$. В [10] наблюдались K и L конверсионные линии перехода 2165 кэВ. Отсутствие γ -лучей этой энергии позволило предположить, что это переход типа E0 с интенсивностью $\geq 0.9\%$ на распад. Используя площадь линии K2165 и верхний предел площади линии γ 2165 кэВ (рис.1 и табл.1) и экстраполированное значение $Z(E_k)$ для $E_\gamma=2165$ кэВ, мы оцениваем коэффициент внутренней конверсии перехода 2165 кэВ как $\alpha_k > 0.5$. Сравнивая полученный предел с расчетными α_k для E5-перехода - $0.23 \cdot 10^{-3}$ и для M5-пере-

хода - $0.55 \cdot 10^{-3}$, с уверенностью утверждаем, что это переход типа $E0$, а уровень 2165 кэВ в ^{146}Gd имеет $I^{\pi}=0^{+}$.

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код гранта №94-02-04828а). Авторы выражают глубокую благодарность В.Б.Бруданину и В.И.Фоминых за полезные обсуждения.

Литература

1. Артамонов С.А., Исаков В.И. и др. ЯФ, 1984, №39, с.328-340. Материалы XX-зимней школы ЛИЯФ, с.11-47, Ленинград, 1984.
2. Kleinheinz P., Lunardi S. et al. Z.Phys.A284(1978)351.
3. Kleinheinz P., Ogawa M. et al. Z.Phys.A286(1978)27.
4. Julin R. et al. Phys.Lett B94(1980)123.
5. Sticzen J., Kleinheinz P. et al., Proc.Int.Conf.Nucl.Far from Stability vol.2, p.548(CERN 81-09,1981).
6. Сэрээтэр Ж., Юдашев М.Б., Горожанкин В.М. и др. Сообщение ОИЯИ P13-94-267, Дубна, 1994.
7. Kalinnikov V.G. et al. NIM B70(1992), p.62-68.
8. Банд И.М., Тржаковская М.Б. Таблицы коэффициентов внутренней конверсии гамма-лучей на K-, L- и M-оболочках, Ленинград, 1978.
9. Nolte et al. Z.Phys.A306(1982)223.
10. Ваврышук Я., Потемпа А.В. и др. Тезисы докладов Международного совещания - Ядерная спектроскопия и структура атомного ядра, Дубна, апрель 1993, с.69, Санкт-Петербург.

Рукопись поступила в издательский отдел
27 сентября 1995 года.