



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

3327/82

19/7-82

P3-82-305

В.А.Втюрин

РАДИАЦИОННЫЕ СИЛОВЫЕ ФУНКЦИИ
ПЕРВИЧНЫХ МЯГКИХ γ -ПЕРЕХОДОВ
И ПОЛНЫЕ РАДИАЦИОННЫЕ ШИРИНЫ

1982

ВВЕДЕНИЕ

Первые расчеты полных радиационных ширин Γ_{γ}^{tot} проводились более 20 лет назад /1/, а затем неоднократно уточнялись разными авторами /2,3,4/. Общей чертой всех расчетов является учет только ЕI-переходов, рассчитанных либо в рамках модели гигантского дипольного резонанса /5/, либо в рамках одночастичного приближения Вайскопфа /6/. Поскольку все методы не давали абсолютных значений Γ_{γ}^{tot} , то проводилась нормировка на экспериментальные величины Γ_{γ}^{tot} . Таким образом удавалось удовлетворительно описать их поведение в широком диапазоне атомных весов.

Попытки рассчитать абсолютную величину Γ_{γ}^{tot} на основе применения оболочечного (полумикроскопического) подхода к анализу низкоэнергетической части среднего сечения ЕI фотопоглощения для средне-тяжелых ядер дают значения Γ_{γ}^{tot} , которые оказываются в 3-5 раз меньше экспериментальных /7/. Одной из возможных причин получаемого расхождения с экспериментом является то обстоятельство, что накопленные к настоящему времени экспериментальные данные о γ -распаде компаунд-состояний и сформировавшиеся на их основе теоретические представления относятся в основном к парциальным жестким γ -переходам $E_{\gamma} = 5 - 7$ МэВ из компаунд-состояний в нижние состояния ядер, структура которых сильно отличается от структуры компаунд-состояний, поэтому экспериментальные данные отражают в основном свойства простых, мало-квазичастичных компонент волновой функции компаунд-состояний, составляющих $10^{-5} - 10^{-6}$ часть от ее полной величины /8/. В то же время первичные γ -переходы с энергией $0,3 < E_{\gamma} < 4$ МэВ, в основном определяющие полную радиационную ширину, могут быть обусловлены другими, более сложными компонентами волновой функции, при этом также не исключается и проявление других механизмов γ -распада.

К сожалению, исследование первичных γ -переходов методами γ -спектроскопии в этом диапазоне энергий затрудняется тем, что не удается отделить их от вторичных γ -переходов каскада.

Нашей группой на протяжении последних 10 лет проводились исследования первичных мягких γ -переходов ($s \rightarrow s'$ -переходов) при помощи двухступенчатой реакции $(n, \gamma \alpha)$ /9,10,11,12/ на резонансных нейтронах. Эти данные, а также анализ данных реакции $(n, \gamma \gamma)$ /13,14/ и данных реакции $(n, \gamma \alpha)$ на тепловых нейтронах из работ /15,16/ позволили нам получить сведения о радиационных силовых функциях первичных γ -переходов S_{γ}^{cc} с энергией $0,2 < E_{\gamma} < 1,6$ МэВ. Были получены значения S_{γ}^{cc} для нескольких ядер в области редких земель и делющихся ядер. Для компаунд-ядра ^{144}Nd было измерено соотношение

интенсивностей первичных γ -переходов мультипольности EI и MI, которое оказалось близко к единице $\sqrt{I_2}$. Анализ формы спектра α -частиц из реакции $^{143}\text{Nd}(n, \gamma \alpha)^{140}\text{Ce}$ показал, что S_γ^{cc} , определяемая выражением

$$S_\gamma^{cc} = \frac{\langle \sqrt{\gamma}^i \rangle}{D_i E_\gamma^3}, \quad (1)$$

не зависит от E_γ для γ -переходов мультипольности как MI, так и EI $\sqrt{I_2}$.

В связи с тем, что $s \rightarrow s'$ -переходы исследованного нами диапазона энергий вносят заметный вклад в полную радиационную ширину, определенный интерес представляет оценка $\sqrt{\gamma}^{tot}$ на основе полученных нами данных.

Следует отметить, что анализ полных радиационных ширин в силу того, что они определяются только первичными γ -переходами, может служить экспериментальным, пусть даже сравнительно грубым, методом проверки представлений о первичных γ -переходах с энергией более полутора МэВ.

МЕТОД РАСЧЕТА И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полные радиационные ширины рассчитывались при помощи выражения

$$\sqrt{\gamma}^{tot} = \sum_J \int_0^U D_i S_\gamma^{cc} E_\gamma^3 \rho((U-E_\gamma), J) dE_\gamma. \quad (2)$$

Выражение (2) позволяет рассчитать только часть полной радиационной ширины, поскольку функция $\rho(E^*, J)$ определена при энергии возбуждения E^* свыше энергии спаривания δ .

Хотя величина U для четно-четных ядер составляет 3,5 - 4 МэВ, γ -переходы с энергией $E_\gamma < U$ определяют более 80% полной радиационной ширины. Расчетный спектр первичных γ -лучей имеет колоколообразный вид с максимумом в районе 2 - 3 МэВ и полушириной 2,2 МэВ.

Так как на результат расчета существенно влияет правильность описания функции плотности уровней, использовались три варианта $\rho(E^*, J)$.

А. По модели ферми-газа с учетом группировки в оболочки из работы ^{/3/}:

$$\rho(E^*, J) = \frac{2J+1}{24\sqrt{2} \alpha^{1/4} \sigma^3 (E^*)^{5/4}} \exp\left\{2(\alpha E^*)^{1/2} - \frac{(J+1/2)^2}{\sigma^2}\right\}, \quad (3)$$

Б.В. По модели ферми-газа с обратным смещением из работы ^{/17/}:

$$\rho(E^*, J) = \frac{2J+1}{24\sqrt{2} \alpha^{1/4} \sigma^3 (E^* - \Delta + \epsilon)^{5/4}} \exp\left\{2[\alpha(E^* - \Delta)]^{1/2} - \frac{J(J+1)}{\sigma^2}\right\} \quad (4)$$

Варианты Б и В отличаются значениями σ :

Б. $\sigma = \sigma_{rigid}$,

В. $\sigma = 1/2 \sigma_{rigid}$.

Значения всех переменных в выражениях (3) и (4) взяты из указанных работ.

Следует отметить, что поскольку плотность уровней по модели ферми-газа не зависит от четности, то результат, получаемый при помощи выражений (2), (3), (4), зависит только от суммы величин силовых функций мультипольности EI и MI, но не от их отношения (если силовые функции S_γ^{cc} других ядер, так же как и ^{143}Nd , не зависят от E_γ). В то же время значения силовых функций, получаемых на основе ширины $\sqrt{\gamma}^\alpha$ в случае, когда неизвестна мультипольность первичных γ -переходов, могут меняться более чем вдвое в зависимости от предположения о мультипольности $s \rightarrow s'$ -переходов.

Для ядер ^{123}Te и ^{147}Sm приводятся два значения силовых функций S_γ^{cc} и соответствующих им оценок $\sqrt{\gamma}^{tot}$ для крайних случаев чистых EI- и MI-переходов. Для ^{149}Sm величина S_γ^{cc} слабо зависит от предположения о мультипольности, и поэтому приводится ее среднее значение. Для ^{143}Nd дается сумма силовых функций EI- и MI-переходов.

В погрешности средних расчетных значений $\sqrt{\gamma}^{tot}$ кроме неопределенности расчета $\rho(E^*, J)$ учтены также погрешности определения силовых функций S_γ^{cc} .

В нижней части таблицы приведены экспериментальные значения полных радиационных ширин этих же ядер, суммы парциальных ширин жестких γ -переходов с энергией $E_\gamma^{min} < E_\gamma < B_n$, а также разности этих величин, равные доле полной радиационной ширины, обусловленной γ -квантами с энергией $E_\gamma < E_\gamma^{min}$, исходя из которых можно оценить величины S_γ , усредненные в интервале $E_\gamma = 1,6 - 4$ МэВ. Величины S_γ , полученные при помощи выражения

$$S_\gamma = \frac{\sqrt{\gamma}(B_n) - \sum \sqrt{\gamma}^{cs} - \sum_0^{1,6} D_i E_\gamma^3 S_\gamma^{cc} \rho((U-E_\gamma), J) dE_\gamma}{\sum_{1,6}^U D_i E_\gamma^3 \rho((U-E_\gamma), J) dE_\gamma}, \quad (5)$$

приведены в нижней строке таблицы. Следует отметить, что вычисляемая таким образом величина S_γ является суммой силовых функций EI- и MI-переходов. В погрешность приводимых значений силовых функций включены погрешность экспериментальных значений $\sqrt{\gamma}(B_n)$, погрешность S_γ^{cc} и неопределенность, вносимая видом функции $\rho(E^*, J)$.

Как можно видеть, оценки $\sqrt{\gamma}^{tot}$ на основе радиационных силовых функций $s \rightarrow s'$ -переходов, не зависящих от энергии E_γ , занижены по сравнению с экспериментальными значениями для всех исследованных ядер. Это указывает на то, что наблюдаемое расхождение неслучайно и следует ожидать появления зависимости S_γ от энергии при $E_\gamma > 1,6$ МэВ. Это предположение естественно вытекает также и из сопоставления

Таблица I

Ядро-мишень	Вариант $\rho(E^*, J)$	^{123}Te		^{143}Nd	^{147}Sm		^{149}Sm
		EI	MI		EI	MI	
$S_\gamma^{cc} \cdot 10^9$ [МэВ ⁻³]		24 \pm 10	12 \pm 5	15 \pm 5	10 \pm 5	18 \pm 9	21 \pm 11
Γ_γ^{tot}	A	95	47	47	11	21	35
	B	66	32	21	10	17	30
	B	80	40	25	11	19	32
Γ_γ^{tot}	Среднее	80 \pm 36	40 \pm 13	30 \pm 20	11 \pm 6	19 \pm 10	32 \pm 9
E_γ^{min} [МэВ]		5,4		4,35			5,05
$\Gamma_\gamma(B_n)$ /19,18/ $\sum \Gamma_\gamma^{cs}$		104 \pm 3		86 \pm 15		35 \pm 9	60,5 \pm 0,6
		7,36 /20/		22 /21/			1,47 /22/
$\Gamma_\gamma(B_n) - \sum \Gamma_\gamma^{cs}$		97 \pm 3		64 \pm 15		35 \pm 9	59 \pm 0,6
$S_\gamma \cdot 10^9$ [МэВ ⁻³]		34 \pm 10		45 \pm 22		52 \pm 21	52 \pm 12

с данными по жестким γ -переходам, например из реакции $^{143}\text{Nd}(n, \gamma)$ /23/, где среднее значение S_γ в 2 - 10 раз больше, чем S_γ^{cc} для этого ядра /12/, в свою очередь, полученные экстраполяцией при помощи лоренцевской кривой силовые функции, определявшиеся на основе сечений фотопоглощения в области 8-20 МэВ /24/, оказываются примерно вдвое больше экспериментальных значений силовых функций жестких γ -переходов.

Более наглядно о возрастании силовой функции в области $E_\gamma > 1,6$ МэВ свидетельствуют оценки силовых функций, усредненные в интервале $1,6 < E_\gamma < 4$ МэВ, полученные при помощи выражения (5). Погрешности таких оценок в основном обусловлены неопределенностью функции плотности уровней, и можно надеяться, что развитие более точных методов расчета плотности уровней, например на основе полумикроскопической теории ядра /25/, позволит уменьшить погрешности оценок. Но, разумеется, наибольший интерес могла бы представлять разработка методики измерения спектра первичных γ -переходов в этой области энергий.

В заключение автор считает своим приятным долгом выразить благодарность Ю.П.Попову за интерес к работе и плодотворные обсуждения.

Литература

1. Cameron A.G.W. Can.J.Phys., 1959, 37, p.322.
2. Адамчук Ю.В., Струтинский В.М. Препринт ИАЭ, ИАЭ-94, М., 1960.
3. Захарова С.М., Ставинский В.С., Шубин Ю.Н. В сб. Ядерные константы, вып. 7, ЦНИИАтоминформ, М., 1971, с.2.
4. Зарешкий Д.Ф., Спироткин В.К. ЯФ, 1978, т.27, вып.6, с.1534.
5. Axel P. Phys.Rev., 1962, 126, p.271.
6. Блатт Дж., Вайскопф В. Теоретическая ядерная физика, ИЛ, М., 1954, с.503.
7. Бондаренко В.И., Урин М.Г. В кн.: Нейтронная физика, ч.1, ЦНИИАтоминформ, М., 1980, с.105.
8. Воронов В.В., Соловьев В.Г. В кн.: Нейтронная физика, ч.1, ЦНИИАтоминформ, М., 1977, с.41.
9. Furman W.I. et al. Phys.Lett., 1973, vol.44B, p.465.
10. Втюрин В.А. и др. В кн.: Нейтронная физика, ч.4, ЦНИИАтоминформ, М., 1976, с.65.
11. Во Ким Тхань и др. ОИЯИ, РЗ-11381, Дубна, 1978.
12. Анджеевски Ю. и др. ОИЯИ, РЗ-81-433, Дубна, 1981.
13. Vo Kim Thanh et al. In: Neutron Capture Gamma-Ray Spectroscopy, Plenum Press, 1979, New York, p.772.
14. Втюрин В.А., Попов Ю.П. ОИЯИ, РЗ-10775, Дубна, 1977.
15. Asghar M., Emsallem A. In: Second Int.Conf. on Neutron Capture Gamma-Ray Spectroscopy and Related Topics, Preprints, Petten, Netherlands, 1974, p.395.
16. Aldea L., Seyfarth H. In: Neutron Capture Gamma-Ray Spectroscopy, Plenum Press, 1979, New York, p.526.
17. Dilg W. et al. Nucl.Phys., 1973, A217, p.269.
18. Neutron Cross Sections BNL-325. Ed. by S.F.Mughabghab, H.Kinsey. Third Ed., vol.1, 1973, New York.
19. Neutron Cross Sections, vol.1, Part A. Ed. by S.F.Mughabghab, M.Divadeenam, N.E.Holden. Academic Press, 1981, New York.
20. Nucl.Data Sheets, 1973, 10, No.2, Academic Press, New York, p.91.
21. Nucl.Data Sheets, 1975, 16, No.2, Academic Press, New York, p.235.
22. Nucl.Data Sheets, 1976, 18, No.3, Academic Press, New York, p.223.
23. Raman S. In: Proc.on Fourth Int.Symp.on Neutr.Capture Gamma-Ray Spectroscopy and Related Topics. Sept.1-7, 1981, Grenoble, France.
24. Carlos P. et al. Nucl.Phys., 1971, A172, p.437.
25. Вдовин А.И. и др. ЭЧАЯ, 1976, 7, 4, с.952.

Рукопись поступила в издательский отдел
27 апреля 1982 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д1,2-9224	IV Международный семинар по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1975.	3 р. 60 к.
Д-9920	Труды Международной конференции по избранным вопросам структуры ядра. Дубна, 1976.	3 р. 50 к.
Д9-10500	Труды II Симпозиума по коллективным методам ускорения. Дубна, 1976.	2 р. 50 к.
Д2-10533	Труды X Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Баку, 1976.	3 р. 50 к.
Д13-11182	Труды IX Международного симпозиума по ядерной электронике. Варна, 1977.	5 р. 00 к.
Д17-11490	Труды Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1977.	6 р. 00 к.
Д6-11574	Сборник аннотаций XV совещания по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дубна, 1978.	2 р. 50 к.
Д3-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
Д13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
Д1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
Д1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
Д11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1979	3 р. 50 к.
Д4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
Д4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
Д2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
Д10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.

ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Втюрин В.А.

P3-82-305

Радиационные силовые функции первичных мягких γ -переходов и полные радиационные ширины

На основе экспериментальных значений силовых функций γ -переходов между компаунд-состояниями, полученных в исследованиях реакции (n, γ) на ядрах ^{128}Te , ^{148}Nd , ^{147}Sm и ^{149}Sm , делаются оценки полных радиационных ширин этих ядер. Сравнение оценок полных радиационных ширин с их экспериментальными значениями указывает на рост величин радиационных силовых функций при $E_\gamma > 1,6$ МэВ по сравнению с интервалом 0,2-1,6 МэВ. Получены оценки радиационных силовых функций, усредненных в интервале $1,6 < E_\gamma \leq 4$ МэВ.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Vtiurin V.A.

P3-82-305

Radiation Strength Functions of Primary Soft γ -Transitions and Total Radiation Width

Estimates are drawn for the total radiative widths of ^{128}Te , ^{148}Nd , ^{147}Sm and ^{149}Sm on the basis of experimental values of the strength functions of γ -transitions between the compound states obtained in the study of (n, γ) reaction on these nuclei. A comparison of the estimates with the experimental values obtained for total radiative widths reveals a growth of radiative strength functions at $E_\gamma > 1.6$ MeV as compared with their values in the interval from 0.2-1.6 MeV. The estimates are also made for the radiative strength functions averaged over the energy interval from 1.6 to 4 MeV.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод авторов.