

Внимание читателей предлагается продолжение подборки статей, по материалам XI Международного семинара «Точные измерения в ядерной спектроскопии» (начало: «Измерительная техника», 1997, №№ 6, 8, 10).

## Корреляции энергий и их погрешности при вычислении энергий уровней и переходов из $\gamma$ -спектров

Л. П. КАБИНА, Ю. Е. ЛОГИНОВ, П. А. СУШКОВ

Процедура энергетической калибровки с использованием априорной информации используется для определения энергии связи нейтрона в ядре  $^{118}\text{Sn}$ :  $E = 9326,18 (6)$  кэВ из реакции  $^{117}\text{Sn}(n, \gamma)$ . Показано влияние корреляций энергий и их погрешностей на результат.

A procedure for energy calibration of  $\gamma$ -lines spectra using apriori information is carried on for nucleus  $^{118}\text{Sn}$  from  $^{117}\text{Sn}(n, \gamma)$ -reaction. Its binding energies is determining:  $E = 9326,18 (6)$  keV. The comparison with usual procedure results is made. The influence of correlations is deduced.

Одной из ключевых задач экспериментальной ядерной спектроскопии является определение энергий и интенсивностей переходов исследуемого ядра и построение его схемы уровней. Для регистрации  $\gamma$ -излучения весьма удобным прибором являются спектрометры с полупроводниковыми детекторами. Они позволяют определять положения пиков с точностью до нескольких десятков электронвольт во всей области энергий, актуальной для задач ядерной спектроскопии.

Для определения энергий  $\gamma$ -линий обычно используется энергетическая калибровка по реперам. В условиях недостаточного числа реперов, а также для улучшения точности энергетической калибровки используется априорная информация, содержащаяся в спектре, о соотношениях между положениями пиков и энергиями. Такие соотношения возникают в процессе излучения (например, в спектрах электронов внутренней конверсии — разности энергий между пиками  $K$ -,  $L$ - и  $M$ -электронов), в процессе регистрации  $\gamma$ -квантов (например, между пиками полного поглощения ( $F$ ), одиночного ( $S$ ) и двойного ( $D$ ) вылета). При исследовании  $\gamma$ -излучения ядра имеются соотношения между положениями пиков, которые следуют из размещения соответствующих переходов в его схеме уровней.

Методика использования априорной информации подробно разработана, написаны программы, получены результаты для ряда изотопов [1—7] и позволяет корректно объединять данные разных экспериментов об исследуемом ядре. Для этого в единой процедуре определяются коэффициенты калибровочных полиномов и энергии уровней исследуемого ядра с использованием энергий реперов и с учетом размещения переходов в схеме уровней, а также соотношений между  $F$ -,  $S$  и  $D$  пиками. При этом вычисляются корреляционная матрица энергий уровней и переходов (рис. 1 и 2), а также вклад в погрешности оцениваемых величин (энергии уровней и переходов) от погрешностей измеряемых (положений пиков) или априорно известных (энергии реперов) (рис. 3).

**Эксперимент.** Эта методика была использована при определении энергий  $\gamma$ -линий и уровней ядра  $^{118}\text{Sn}$  из реакции  $^{117}\text{Sn}(n, \gamma)$ . Гамма-излучение  $^{118}\text{Sn}$  было исследовано в диапазоне 70—9300 кэВ. Измерено два спектра  $^{118}\text{Sn}$ : один — в диапазоне 70—4400 кэВ и другой — в диапазоне 1, 2—9, 3 МэВ и несколько калибровочных и фоновых спектров [8, 9]. Энергетическая калибровка первого спектра была определена по линиям  $^{28}\text{Al}$  из реакции  $^{27}\text{Al}(n, \gamma)$  [1], второго — по линиям  $^{15}\text{N}$  из реакции  $^{14}\text{N}(n, \gamma)$  [10] и фоновым линиям  $\text{Al}$ ,  $\text{Fe}$  и  $\text{Pb}$ . В результате в схеме уровней  $^{118}\text{Sn}$  размещено 118 переходов между 32 уровнями. Энергии уровней  $^{118}\text{Sn}$  определены по программе GTOL из

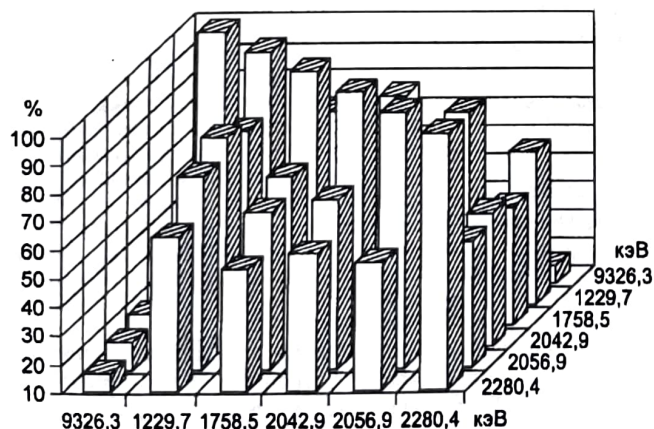


Рис. 1. Фрагмент корреляционной матрицы энергий уровней  $^{118}\text{Sn}$

GTOL	1 + 2	1	2
$E_{\text{уровня}}$	$E_{\text{уровня}}$	$E_{\text{уровня}}$	$E_{\text{уровня}}$
1229.618 (22)	1229.634 (17)	1229.628 (19)	1229.65 (21)
1758.41 (4)	1758.42 (4)	1758.41 (4)	1759.2 (4)
2042.842 (24)	2042.849 (23)	2042.829 (24)	
2056.94 (5)	2056.95 (5)	2056.92 (5)	2057.01 (23)
2280.30 (6)	2280.32 (5)	2280.32 (5)	
2324.84 (6)	2324.87 (6)	2324.86 (6)	
2328.01 (5)	2328.04 (5)	2328.02 (5)	2328.2 (4)
2403.07 (6)	2403.11 (5)	2403.10 (5)	2405.2 (6)
2488.84 (9)	2488.85 (9)	2488.83 (9)	
2497.26 (6)	2497.29 (5)	2497.29 (6)	2497.10 (3)
2677.28 (4)	2677.30 (4)	2677.28 (5)	2677.46 (23)
2733.58 (12)	2733.63 (11)	2733.65 (12)	
2737.98 (4)	2738.02 (4)	2738.02 (4)	
2903.68 (6)	2903.77 (5)	2903.68 (7)	2903.89 (24)
2929.46 (11)	2929.51 (11)	2929.50 (11)	
2963.08 (20)	2963.10 (19)	2963.09 (19)	
3057.26 (7)	3057.42 (6)	3057.31 (7)	3058.5 (9)
3137.04 (16)	3137.00 (15)	3137.07 (16)	3137.0 (13)
3228.78 (11)	3228.73 (10)	3228.72 (12)	3229.14 (4)
3251.76 (9)	3251.80 (9)	3251.78 (10)	
3270.35 (7)	3270.44 (6)	3270.37 (7)	3270.38 (3)
3354.80 (10)	3354.74 (9)	3354.82 (12)	3354.63 (3)
3462.58 (9)	3462.57 (8)	3462.60 (9)	3462.32 (3)
3540.28 (11)	3540.33 (10)	3540.32 (11)	3540.8 (7)
3636.73 (13)	3636.75 (13)	3636.78 (14)	3636.2 (5)
3889.70 (19)	3889.74 (19)	3889.80 (23)	3889.9 (4)
5025.37 (12)	5025.58 (14)	5025.55 (15)	5024.8 (6)
5209.11 (9)	5209.14 (8)	5209.25 (10)	5208.8 (3)
9326.13 (4)	9326.18 (6)	9326.43 (25)	9326.31 (17)



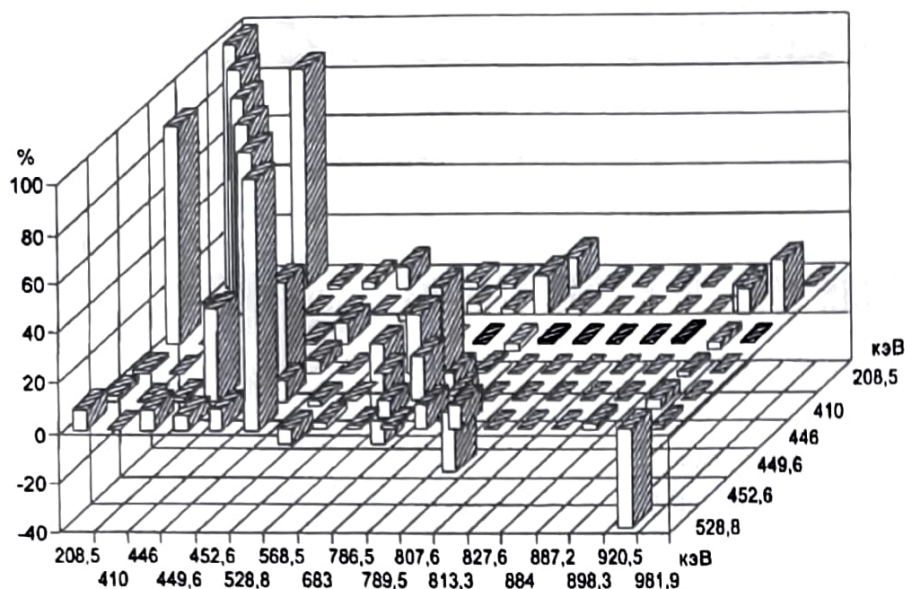


Рис. 2. Фрагмент корреляционной матрицы энергий переходов  $^{118}\text{Sn}$

библиотеки ENSDF, исходя из энергий размещенных переходов. Эти энергии уровней приведены в таблице 1 в первом столбце. Для уточнения энергетических калибров, в основном жесткого спектра, в дополнение к энергиям калибровочных линий была использована схема уровней ядра  $^{118}\text{Sn}$  и энергетическая разность 511,0 кэВ между  $F$ ,  $S$ ,  $D$ -пиками для жестких переходов. Всего варьировались коэффициенты полиномов четвертой (для первого спектра) и третьей (для второго) степеней и энергии 29 уровней  $^{118}\text{Sn}$ , а добавилось около 83 соотношений между положениями пиков и энергиями для первого спектра и 71 для второго. Результаты отдельно для первого и для второго спектров приведены в столбцах 1 и 2, а в столбце 1 + 2 — результат совместной калибровки по программе K1GTLM [2].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Kabina L. P., Kondurov I. A., Syshkov P. A. // Nucl. Inst. Meth. A. — 1996.
2. Кабина Л. П., Кондуров И. А., Сушков П. А. Препринт ЛИЯФ АН СССР. — Л.: 1984. — № 944. — С. 24.

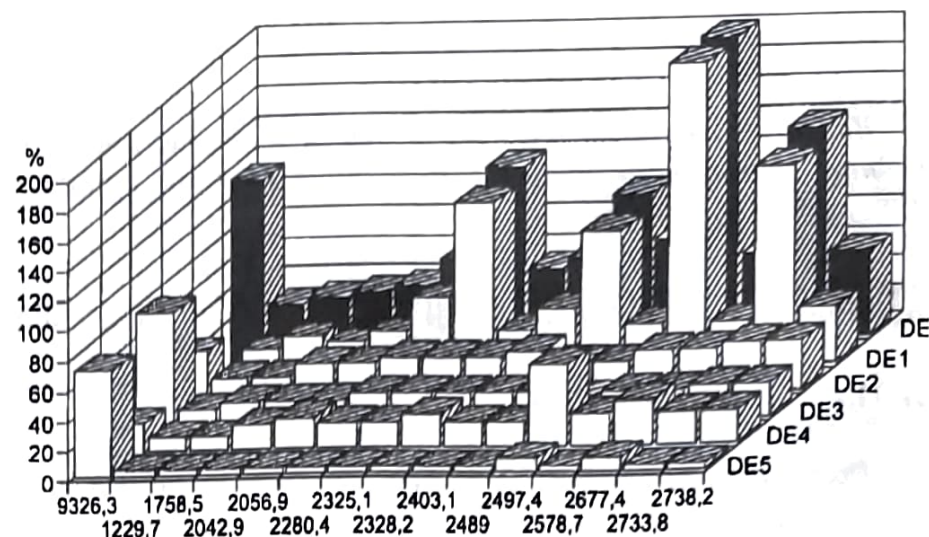


Рис. 3. Пример покомпонентного представления погрешностей энергий уровней  $^{118}\text{Sn}$

DE — полная погрешность энергии уровня; DE1 — вклад в DE от погрешностей положений реперов; DE2 — вклад в DE от погрешностей энергий переходов; DE3 — вклад в DE от погрешностей энергий реперов; DE4 — вклад в DE от погрешностей энергий уровней; DE5 — вклад в DE от погрешностей положений размещенных линий

3. Кабина Л. П., Кондуров И. А., Сушков П. А. // В кн. «Вопросы точности в ядерной спектроскопии». — Вильнюс. — 1984. — С. 3.
4. Сушков П. А. и др. — Л.: Препринт ЛИЯФ АН СССР. — 1981. — № 644. — С. 31.
5. Кондуров И. А. и др. // Изв. АН СССР. Сер. физ.— 1986. — Т. 50. — № 10. — С. 1994.
6. Алексеев В. Л. и др. Л.: Препринт ЛИЯФ АН СССР. — 1984. — № 945. — С. 13.
7. Сушков П. А. // Измерительная техника. — 1988. — № 5. — С. 61.
8. Логинов Ю. Е., Смотрицкий Л. М., Сушков П. А. // Изв. РАН Сер. физ.— 1995. — Т. 59. — № 5. — С. 93.
9. Логинов Ю. Е., Смотрицкий Л. М., Сушков П. А. // Тез. докл. 45 Международного совещ. по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. — С.-Пб. — Наука. — 1995. — С. 63.
10. Kennet T. J. et al. // Nucl. Inst. Meth. — 1986. — V. 249. — P. 366.