



объединенный  
институт  
ядерных  
исследований  
дубна

1803/2-80

21/4-80

P13 - 13021

М.Будзынски, Т.Бэдикэ,<sup>1</sup> В.Жук,<sup>2</sup> О.И.Кочетов,<sup>3</sup>  
Г.Лизурей, А.И.Муминов,<sup>3</sup> Х.Незгода, И.Попеску,<sup>1</sup>  
В.И.Стегайлов, М.Суботович,<sup>2</sup> Р.Р.Усманов,<sup>4</sup>  
Т.Хазратов,<sup>4</sup> В.М.Цупко-Ситников, Я.Юрковски

УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ  
 $e^--\gamma$  УГЛОВЫХ КОРРЕЛЯЦИЙ

Направлено в сб. "Прикладная ядерная спектроскопия"

<sup>1</sup> Центральный физический институт, Бухарест.

<sup>2</sup> Университет им. М.Кюри-Склодовской, Люблин, ПНР.

<sup>3</sup> Институт ядерной физики АН УзССР, Ташкент.

<sup>4</sup> Самаркандский государственный университет.

1980

В настоящей работе описывается установка для измерений  $e^-$ - $\gamma$  угловых корреляций с использованием  $Si(Li)$ -детектора для регистрации электронов конверсии в сочетании с  $Ge(Li)$  или двумя  $NaJ(Tl)$ -детекторами для регистрации  $\gamma$ -излучения. Конструкция камеры  $Si(Li)$ -детектора позволяет проводить измерения  $e^-$ - $\gamma$  угловых корреляций и исследования квадрупольных взаимодействий методами  $e^-$ - $\gamma$  и  $\beta$ - $\gamma$ -возмущенных угловых корреляций. Проведены контрольные измерения для проверки работы установки.

### 1. $e^-$ - $\gamma$ угловые корреляции

Изучение  $e^-$ - $\gamma$  угловых корреляций позволяет получить сведения о спинах и четностях состояний атомных ядер и мультипольном составе ядерных переходов.

Теория  $e^-$ - $\gamma$  угловых корреляций изложена в работах<sup>1,2/</sup>. Функцию  $\gamma$ - $\gamma$  угловой корреляции удобно принять в качестве стандарта, отражающего геометрию корреляционного процесса, для различных типов ядерного излучения. Для каскада  $I_1 \xrightarrow{(1)} I_2 \xrightarrow{(2)} I_f$  она имеет вид:

$$W(\theta) = 1 + \sum A_{kk} P_k(\cos \theta), \quad /1/$$

где

$$A_{kk} = A_k(1) \cdot A_k(2) \quad /2/$$

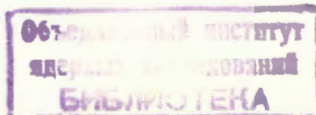
- коэффициенты угловой корреляции, а  $P_k(\cos \theta)$ - полиномы Лежандра.

Если вместо одного  $\gamma$ -кванта регистрируется соответствующий электрон конверсии, то коэффициент корреляции можно записать в следующем виде:

$$A_k(e^-) = \frac{1}{1 + \delta(e^-)} [ b_k(LL, e^-) F_k(LL I_n) + (-1)^n \delta \delta(e^-) \times \\ \times b_k(LL', e^-) F_k(LL \tau_n I) + \delta^2(e^-) b_k(L'L', e^-) F_k(L'L \tau_n I) ], \quad /3/$$

где

$$\delta(e^-) = \delta(\gamma) \sqrt{\frac{\alpha^q(L')}{\alpha^q(L)}}, \quad /4/$$



$\delta(\gamma)$  - отношение смеси для данного  $\gamma$ -перехода,  $b_k(LL, e^-)$  - электронный параметр,  $\alpha^q(L)$  - коэффициент конверсии на  $q$ -оболочке / $q=K, \dots$  и т.д./ . Электронный параметр зависит от заряда ядра ( $Z$ ), энергии, порядка мультипольности и типа перехода / $E$  или  $M$ / . Электронные параметры  $b(LL, e^-)$  и коэффициенты конверсии  $\alpha^q(L)$  для электрических и магнитных переходов протабулированы в работах <sup>3,4</sup>, соответственно. В качестве примера на рис. 1 и 2 показаны их зависимости от энергий при  $Z=69$  для  $K$ -оболочки.

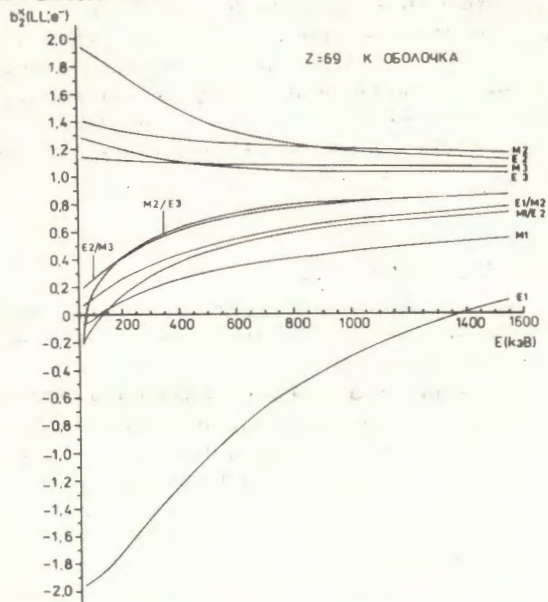


Рис. 1. Зависимость электронного параметра от энергии при различных мультипольностях электромагнитных переходов для  $K$ -оболочки,  $Z=69$ .

Естественно, коэффициенты  $e^-$ - $\gamma$  угловых корреляций будут иметь вид

$$A_{kk} = A_k(e^-) \cdot A_k(\gamma) \quad /5/$$

В случае переходов, для которых  $b_k(LL, e^-) \geq 1$  и  $\alpha^q(\alpha) \geq 1$ , исследование  $e^-$ - $e^-$  и  $e^-$ - $\gamma$  угловых корреляций более выгодно, чем  $\gamma$ - $\gamma$  угловых корреляций, вследствие большой анизотропии первых. Это позволяет повысить точность экспериментальных результатов и сократить время измерений. Соответствующий выбор метода измерения угловой корреляции позволяет для данного каскада измерять ее функцию с максимальной амплитудой. Иллюстрацией служит рис. 3.

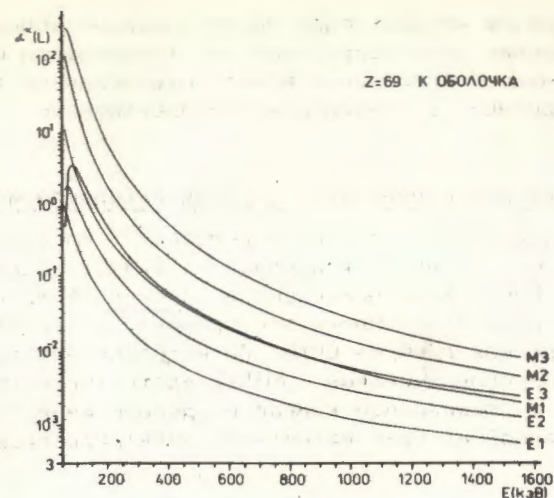


Рис. 2. Зависимость коэффициента конверсии от энергии при различных мультипольностях электромагнитных переходов для  $K$ -оболочки,  $Z=69$ .

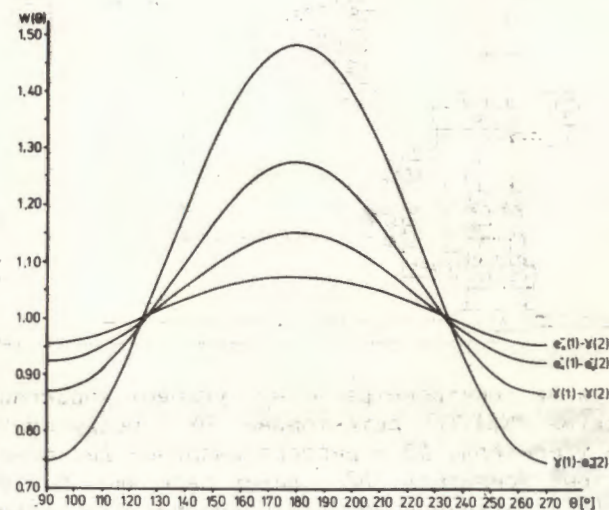


Рис. 3. Функции  $e_k^-(1)-\gamma(2)$ ,  $e_k^-(1)-e_k^-(2)$ ,  $\gamma(1)-\gamma(2)$  и  $\gamma(1)-e_k^-(2)$  угловых корреляций для каскада /170 - 130/ кэВ в  $^{189}\text{Tm}$ .

Для каскадов, в которых один переход сильно конвертирован,  $\alpha^q(L) \geq 1$ , измерение  $\gamma$ - $\gamma$  корреляций может оказаться невыполнимым, и тогда нужная информация может быть получена только из измерений корреляций с конверсионными электронами.

## 2. Установка для измерения $e^-$ - $\gamma$ угловых корреляций

На базе существующего  $\gamma$ - $\gamma$  спектрометра /5/ создана установка для измерений  $e^-$ - $\gamma$  угловых корреляций с Si(Li) и двумя NaI(Tl)-детекторами. Блок-схема приведена на рис. 4. В тракте Si(Li)-детектора использовались блоки электроники, разработанные в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Регистрация электронов осуществляется полупроводниковым Si(Li) -детектором /50 мм х 4 мм/, установленным в специальной камере из дюралюминия. С помощью системы, собранной на базе магнитного электроразрядного насоса,

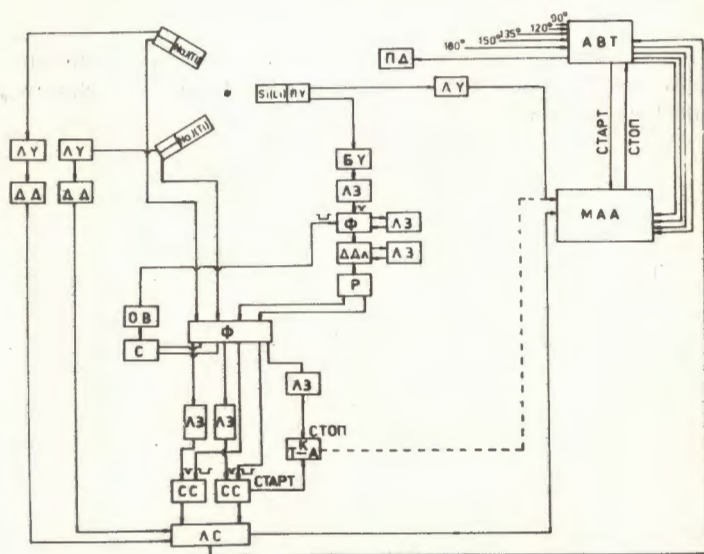


Рис. 4. Блок-схема спектрометра  $e^-$ - $\gamma$  угловых корреляций с Si(Li) и двумя NaI(Tl)-детекторами. ПУ - предусилитель, ЛУ - линейный усилитель, ДД - дифференциальный дискриминатор, БУ - быстрый усилитель, ЛЗ - линия задержки, Ф - формирователь, ДДл - дискриминатор длительности, Р - разветвитель, ОВ - одновибратор, СС - схема совпадений, Т-А - конвертор, С - сумматор, ЛС - логическая схема, МАЗ - многоканальный амплитудный анализатор, АВТ - автоматика, ПА - питание двигателя.

в камере достигается вакуум  $10^{-7}$  Торр. Детектор и первый каскад предусилителя охлаждаются до температуры жидкого азота. Энергетическое разрешение спектрометра составляет 920 эВ для электронов с энергией 100 кэВ.

Конструктивные детали камеры показаны на рис. 5. Ее головная часть имеет форму полуцилиндра с радиусом 40 мм и толщиной стенки 1 мм. Источники устанавливаются на расстоянии 50 мм от детектора, перед которым находится экран с круглым отверстием,

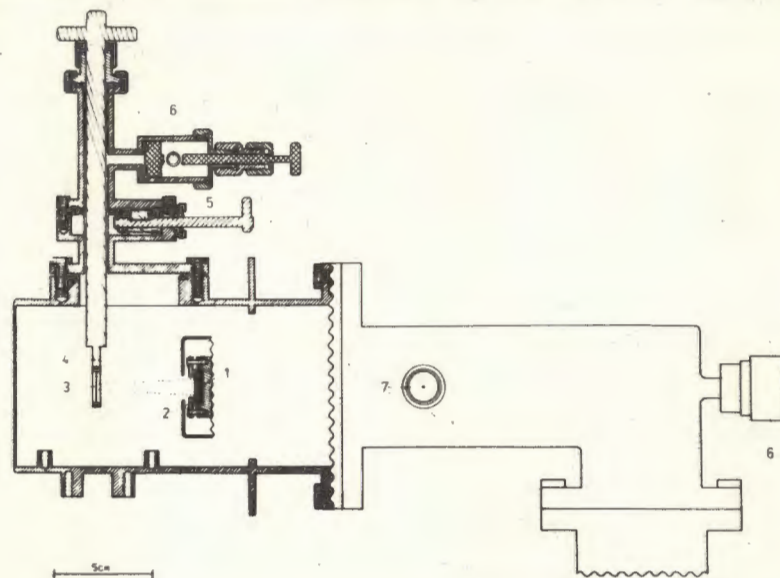


Рис. 5. Камера Si(Li)-детектора с криостатом. 1 - кристалл Si(Li), 2 - экран, 3 - радиоактивный источник, 4 - источникодержатель, 5 - вакуумные краны, 6 - разъемы подключения вакуумной системы.

позволяющим регистрировать электроны в заданном телесном углу. Смена радиоактивных источников обеспечивается шлюзом без нарушения вакуума.

Для регистрации  $\gamma$ -излучения используются сцинтилляторы NaI(Tl)  $\phi$  40x40 мм в сочетании с фотоумножителями XP 2020. При регистрации полных спектров  $^{60}\text{Co}$  в обоих трактах / $E_{\gamma} \geq 40$  кэВ,  $E_{\beta} \geq 20$  кэВ/ временное разрешение спектрометра составляло  $2\tau_0 = 15$  нс.

Исследования  $e^-$ - $\gamma$  угловых корреляций при распаде радиоактивных ядер со сложными  $\gamma$ -спектрами требуют высокого энергетического разрешения установки. Для решения таких задач ис-

пользуется  $\beta^-$ - $\gamma$  спектрометр, в котором для регистрации  $\gamma$ -излучения применяется Ge(Li)-детектор / $V=40 \text{ см}^3, \Delta E=2,7 \text{ кэВ}$  для  $E_\gamma=1332 \text{ кэВ } ^{60}\text{Co}$  /. Блок-схема приведена на рис. 6. Временное разрешение для  $\beta$ - $\gamma$ -совпадений составляло 35 нс для источника  $^{60}\text{Co}$  / $E_\gamma \geq 50 \text{ кэВ}, E_\beta \geq 20 \text{ кэВ}$ /. Энергетические окна можно выбирать в зависимости от постановки задачи, как в спектре электронов конверсии, так и в спектре  $\gamma$ -лучей. Для накопления спектров совпадений используется амплитудный 4096-канальный анализатор ICA-70.

Энергетические окна можно выбирать в зависимости от постановки задачи, как в спектре электронов конверсии, так и в спектре  $\gamma$ -лучей. Для накопления спектров совпадений используется амплитудный 4096-канальный анализатор ICA-70.

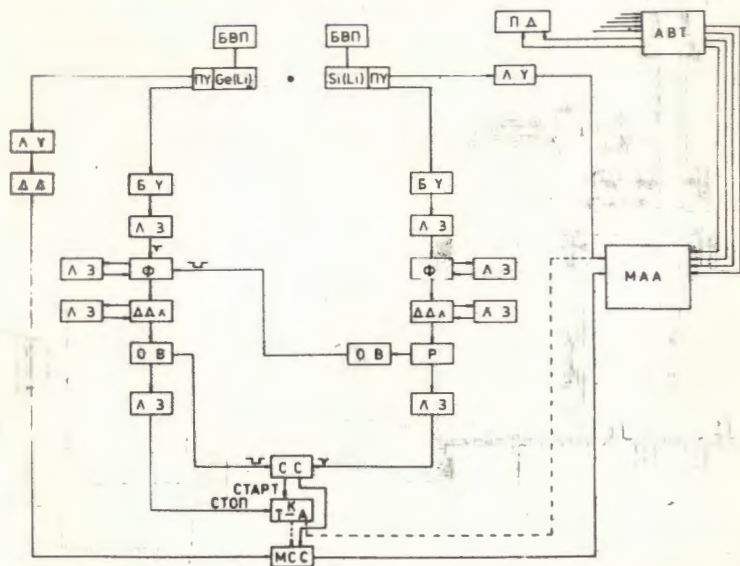


Рис. 6. Блок-схема спектрометра  $\beta^-$ - $\gamma$ -угловых корреляций с Si(Li) и Ge(Li)-детекторами, БВП - блок высоковольтного питания, МСС - медленная схема совпадений, остальные обозначения, как на рис. 4.

### 3. Контрольные измерения

Радиоактивный источник  $^{189}\text{Yb}$  был получен путем облучения танталовой мишени протонами с энергией 660 МэВ на синхротроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Из облученной мишени химическим методом выделялся Yb с последующим разделением его по массам на электромагнитном масс-сепараторе. При этом ионы  $^{189}\text{Yb}$  с энергией 25 кэВ внедрялись в алюминиевую фольгу. Согласно результатам работы /6/, наиболее вероятный проецированный пробег ионов  $^{189}\text{Yb}$  - 130 Å. На рис. 7 показаны спектр

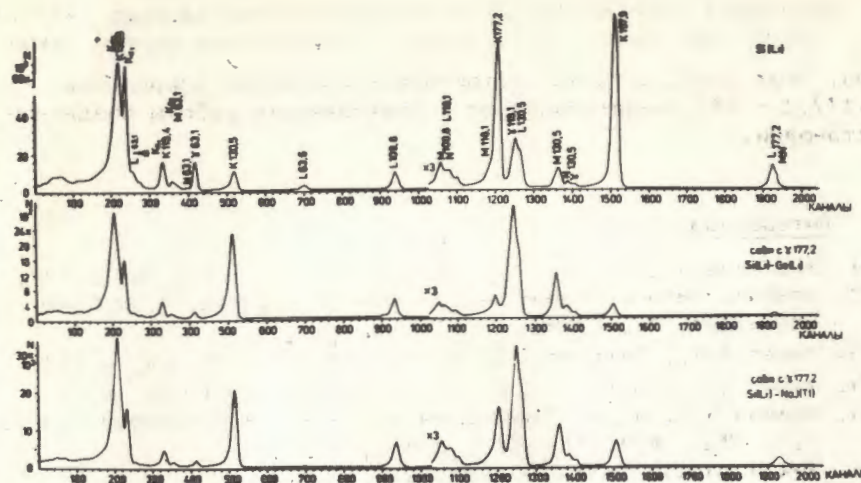


Рис. 7. Спектр электронов внутренней конверсии, спектры совпадений электронов внутренней конверсии с  $\gamma$ -177,2 кэВ, полученные с помощью Si(Li)-NaI(Tl) и Si(Li)-Ge(Li)-спектрометров.

электронов конверсии  $^{189}\text{Tm}$  и спектры совпадений с  $\gamma$ 177,2 кэВ /окна при этом выбирались в спектрах Ge(Li) и NaI(Tl)-детекторов/. Измерения проводились при углах  $90^\circ, 135^\circ$  и  $180^\circ$  между детекторами. Значения коэффициентов угловых корреляций, измеренные нами, и результаты других работ приведены в таблице. При вычислении коэффициентов  $A_{kk}$  учитывались случайные совпадения, вводились поправки: на центровку источника, телесные углы детекторов и на рассеяние электронов в алюминиевой подложке источника /10-12/. Так как время жизни уровня 138,9 кэВ / $T_{1/2} = 0,3 \text{ нс}$ / достаточно мало, из работы /13/ следует, что возмущением корреляции для каскада /177,2 - 130,5/ кэВ можно пренебречь.

Таблица  
Результаты измерений угловых корреляций  $^{189}\text{Tm}$

| Каскад (кэВ)                 | Si(Li)-Ge(Li)  |                | Si(Li)-2NaI(Tl) |                 | /7/             |                | /8/<br>$A_{22}$ | /9/<br>$A_{22}$ |
|------------------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|
|                              | $A_{22}$       | $A_{44}$       | $A_{22}$        | $A_{44}$        | $A_{22}$        | $A_{44}$       |                 |                 |
| $\gamma$ 171,2 - $e^-$ 130,5 | +0,512<br>(14) | -0,024<br>(25) | +0,5094<br>(40) | -0,0258<br>(59) | + 0,484<br>(13) | -0,041<br>(20) | + 0,521<br>(31) | +0,497<br>(10)  |
| $\gamma$ 171,2 - КК          | -0,001<br>(7)  | +0,018<br>(12) | +0,0008<br>(20) | +0,0020<br>(32) |                 |                |                 |                 |

Полученные нами коэффициенты корреляции для каскада  $\gamma_{177,2} - e^-_k$  130,5/ кэВ хорошо согласуются с результатами других авторов. Этот факт, а также изотропность измерений корреляции  $\gamma_{177,2} - KX$  свидетельствуют о правильности работы созданной установки.

### Литература

1. Biedenharn L.C., Rose M.E. Rev.Mod.Phys., 1953, 25, p.729.
2. Альфа-, бета и гамма-спектроскопия. Под ред. К.Зигбана. Атомиздат, М., 1969.
3. Hager R.S., Seltzer E.C. Nuclear Data, 1968, A4, p.397.
4. Hager R.S., Seltzer E.C. Nuclear Data, 1968, A4, p.68.
5. Аликов Б.А. и др. Прикладная ядерная спектроскопия, 1977, 7, с.86; ОИЯИ, P13-9607, Дубна, 1976.
6. Жук В. и др. ОИЯИ, 6-10058, Дубна, 1976.
7. Agnihotry A.P., Gopinathan K.P., Jain H.C. Phys.Rev., 1972, C6, p.321.
8. Antman S. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1970, 82, p.13.
9. Grabowski Z.W. et al. Z.Phys., 1969, 167, p.111.
10. Camp D.C., Van Lehn A.L. Nucl.Instr. and Meth., 1969, 76, p.192.
11. Фергюсон А. Методы угловых корреляций в гамма-спектроскопии. Атомиздат, М., 1969, с.241.
12. Gimmi F. et al. Helv. Phys.Acta, 1956, 29, p.147.
13. Kaufmann E.N. et al. Nucl.Phys., 1968, 119, p.417.

Рукопись поступила в издательский отдел  
25 декабря 1979 года.