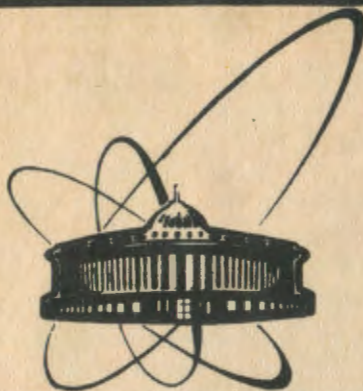


89-97



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

К 18

P15-89-97

В.В.Каманин, А.Куглер, Ю.Г.Соболев,
А.С.Фомичев, Н.В.Еремин¹, С.Бацев², Й.Адам³,
М.Гонусек³, К.Блажек³

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕГИСТРАЦИИ γ -КВАНТОВ
С $E_\gamma = 4 \div 17$ МэВ И НЕЙТРОНОВ С $E_n \leq 6$ МэВ
СЦИНТИЛЛЯТОРАМИ NaI(Tl) И $Bi_4Ge_3O_{12}$

¹ НИИЯФ МГУ им. М.В.Ломоносова
² ИЯИАЭ БАН, София, НРБ
³ ИЯФ ЧСАН, г. Ржеж, ЧССР

ВВЕДЕНИЕ

В работе^{1/} уже исследовались основные характеристики γ -спектрометров, состоящих из сцинтиллятора NaI(Tl) ϕ 150x100 мм² и ФЭУ-49Б (г.Усолье Сибирское), ВГО ϕ 75x25 мм² и ФЭУ EMI-9856 (Harshow Chemical Company). С целью дальнейшего изучения свойств γ -детекторов на основе кристалла Bi₄Ge₃O₁₂ (сокращенно ВГО) были проведены аналогичные измерения для комбинации ВГО ϕ 46x60 мм² и ФЭУ-143 (г.Турнов, СССР) и получено сопоставление со старыми данными.

В работе приведены значения эффективности регистрации γ -квантов с $E_\gamma = 4 \div 17$ МэВ, полученные для данных γ -детекторов в резонансных (p, γ)-реакциях, и нейтронов с $E_n \leq 6$ МэВ от Pu(Be)-источника, а также величины ($\Delta E/E$) в зависимости от E_γ . Было установлено, что чувствительность детекторов к регистрации нейтронов со средней энергией $E_n \approx 4$ МэВ слабо зависит от вещества сцинтиллятора и прямо пропорциональна его толщине. Данное преимущество ВГО-кристаллов перед NaI(Tl) (меньшая чувствительность к нейтронам при одинаковой эффективности к γ -квантам) использовалось^{2,3/} при измерении жесткой компоненты γ -излучения в реакциях с тяжелыми ионами в присутствии интенсивного нейтронного фона.

ИЗМЕРЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ К НЕЙТРОНАМ

Известно^{4/}, что при попадании моноэнергетических нейтронов с энергиями $E_n > 0,3$ МэВ в γ -детектор (сцинтиллятор + ФЭУ) его амплитудные спектры имеют быстро спадающую форму и тянутся до величин, эквивалентных энергии γ -квантов ≈ 8 МэВ. Форма амплитудного спектра, нормированного на число попавших в детектор нейтронов, слабо зависит от их энергии при $E_n \leq 10$ МэВ, и поэтому для определения эффективности регистрации нейтронов можно использовать источник, например Pu(Be), дающий нейтроны в широком энергетическом диапазоне. В реакции ${}^9\text{Be}(\alpha, n){}^{12}\text{C}^{15/}$ (см. рис. 1а), при энергии α -частицы 5,1 МэВ от ${}^{239}\text{Pu}$ примерно в 50% случаев происходит вылет моноэнергетических γ -квантов с $E_\gamma = 4,44$ МэВ и нейтронов с энергией $E_n \leq 5,56$ МэВ, а в других случаях испускаются нейтроны с $E_n \leq 10$ МэВ. Поэтому с помощью организации n - γ -совпадений и времяпролетной

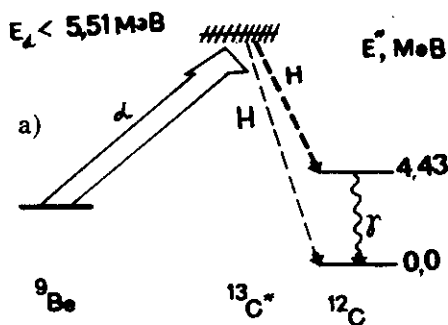


Рис. 1. а) — схема испускания нейтронов и γ -квантов из $Pu(Be)$ -источника в реакции ${}^9Be(\alpha, n){}^{12}C$. б) — схема эксперимента по определению эффективностей регистрации нейтронов и γ -квантов от $Pu(Be)$ -источника сцинтилляторами $NaI(Tl)$ и BGO .

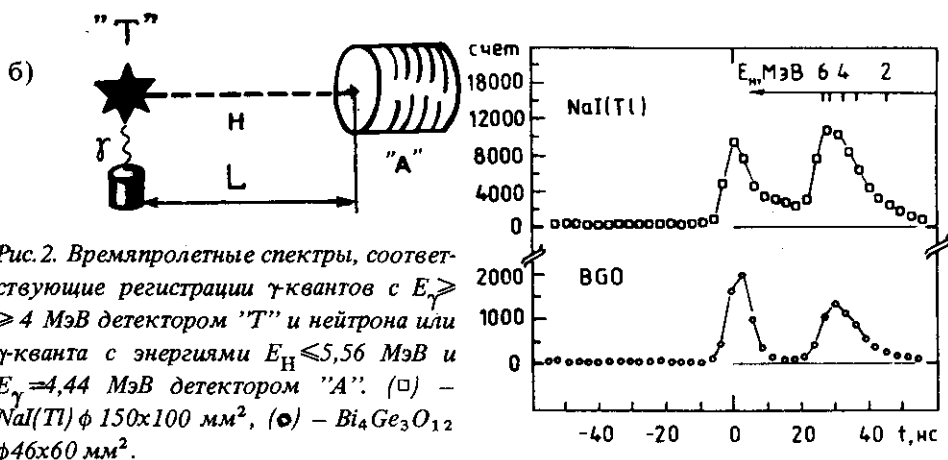


Рис. 2. Времяпролетные спектры, соответствующие регистрации γ -квантов с $E_\gamma \geq 4$ МэВ детектором "Т" и нейтрона или γ -кванта с энергиями $E_H \leq 5,56$ МэВ и $E_\gamma = 4,44$ МэВ детектором "А". (□) — $NaI(Tl)$ $\phi 150 \times 100$ мм², (●) — $Bi_4Ge_3O_{12}$ $\phi 46 \times 60$ мм².

методики можно измерить аппаратные спектры исследуемых детекторов при регистрации γ -квантов с $E_\gamma = 4,44$ МэВ или нейтрона с $E_H \leq 5,56$ МэВ. Вблизи нейтронного источника (см. рис.16) находился триггерный детектор — $NaI(Tl)$ $\phi 65 \times 65$ мм + ФЭУ-82 (детектор "Т"), защищенный слоем парафина толщиной 100 мм и регистрирующий в основном γ -кванты выше установленного порога $E_\gamma \geq 4$ МэВ. Исследуемые детекторы — $NaI(Tl)$ $\phi 150 \times 100$ мм² + ФЭУ-49Б, BGO $\phi 75 \times 25$ мм² + ЕМ1-9856, BGO $\phi 46 \times 60$ мм² + ФЭУ-143 (детекторы "А": А1, А2, А3) помещались на расстоянии $L \approx 1$ м от источника с целью разделения нейтронов от γ -квантов по времени пролета. Разные типы фотоумножителей, естественно, не влияли на эффективности регистраций нейтронов и γ -квантов детекторов А₁, поскольку для них выставлялись одинаковые пороги регистрации $\approx 0,3$ МэВ по шкале E_γ .

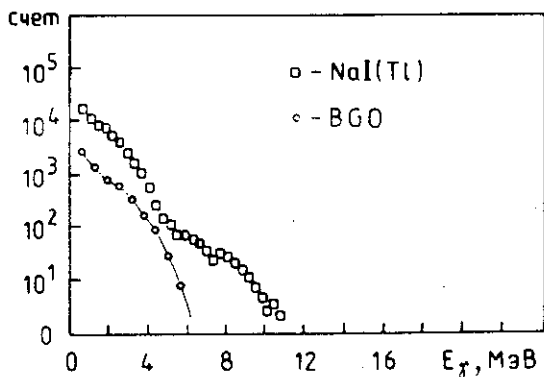


Рис.3. Амплитудные спектры γ -спектрометров при регистрации нейтронов с $E_H \leq 6$ МэВ: (\square) — NaI(Tl) $\phi 150 \times 100$ мм², (\circ) — Bi₄Ge₃O₁₂ $\phi 46 \times 60$ мм².

Времяпролетные спектры, соответствующие регистрации γ -квантов с $E_\gamma \geq 4$ МэВ детектором "Т" и регистрации нейтронов или γ -квантов детекторами А₁, представлены на рис.2. Широкое распределение в правой части спектров соответствует регистрации γ -кванта в "Т"- и нейтрона в "А"-детекторах, что отвечает широкому распределению нейтронов по кинетическим энергиям с максимумом вблизи 4 МэВ. Относительно узкий пик в начальной части временных спектров соответствует регистрации γ -кванта детектором "А" и нейтрона детектором "Т". Пик сильно подавлен из-за наличия перед "Т" парафиновой защиты с 3% содержанием бора, слой толщиной 100 мм подавлял поток нейтронов примерно в 1000 раз.

При определении счетной эффективности регистрации нейтронов от Pu(Be)-источника анализировались амплитудные спектры (см.рис.3), соответствующие регистрации нейтронов исследуемыми γ -детекторами, для широкого распределения в правой части временных спектров на рис.2. Каждый амплитудный спектр, представляющий собой экспоненциальную зависимость $\exp(-E/T)$, нормировался на число γ -квантов, зарегистрированных триггерным детектором "Т", и на телесный угол тестируемого сцинтиллятора "А". Отклонение от экспоненциального спада в районе 8 МэВ по шкале E_γ для сцинтиллятора NaI(Tl) объясняется большим сечением захвата тепловых нейтронов в реакции (n, γ) на ^{130}I . Счетные эффективности регистрации нейтронов при $E_H \leq 6$ МэВ были получены после поканального суммирования амплитудных спектров. Результаты представлены в табл.1.

Таблица 1

Тип детектора	Счетная эффективность регистрации нейтронов
A1 — NaI(Tl) $\phi 150 \times 100$ мм ² +ФЭУ-49Б	16%/ср
A2 — BGO $\phi 75 \times 25$ мм ² +EMI-9856	4%/ср
A3 — BGO $\phi 46 \times 60$ мм ² +ФЭУ-143	12%/ср

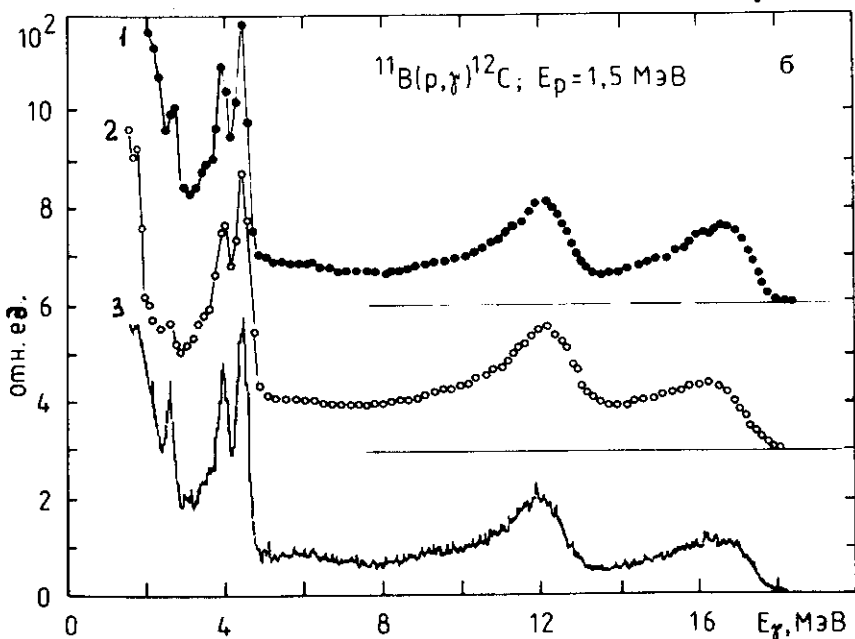
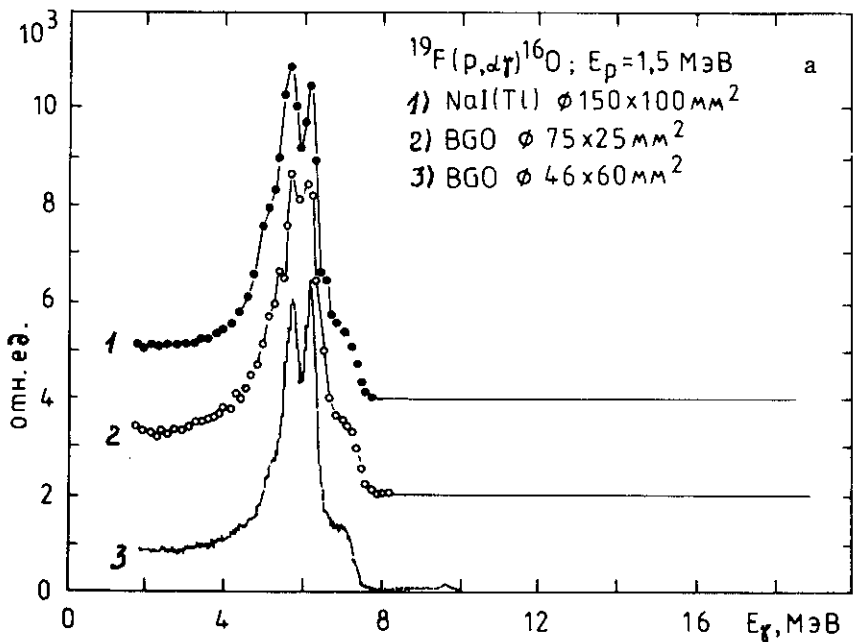


Рис.4. Спектры регистрации моноэнергетических γ -квантов сцинтилляторами NaI(Tl) и BGO в резонансной $(p, \alpha\gamma)$ -реакции на ^{19}F – (а), в (p, γ) -реакции на ^{11}B с энергией протонов $E_p = 1,5 \text{ МэВ}$ – (б).

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕГИСТРАЦИИ γ -КВАНТОВ

Для измерения амплитудных γ -спектров детекторами A_i триггерный детектор "Т" защищался слоем свинца толщиной 100 мм, что обеспечивало фактор подавления γ -квантов $5 \cdot 10^3$. Порог регистрации нейтронов был ≈ 100 кэВ. Спектры также нормировались на число запусков детектора "Т" и на телесный угол. Поскольку интенсивность $Pu(Ve)$ -источника была известна ($I_H = 5 \cdot 10^6$ имп./с), можно было определить эффективность регистрации γ -квантов с $E_\gamma = 4,44$ МэВ для кристаллов $NaI(Tl)$ и BGO по формуле $\epsilon_K = S / (0,5 \cdot I_H)$, где S — площадь под пиком, а фактор 0,5 отражает свойство источника. Были получены следующие значения ϵ_K : $\epsilon_{A1} = (38 \pm 2)\%$, $\epsilon_{A2} = (28 \pm 3)\%$, $\epsilon_{A3} = (26 \pm 3)\%$.

Эти данные использовались в дальнейшем для уточнения абсолютных эффективностей регистрации γ -квантов исследуемыми детекторами при измерениях γ -спектров в близкой геометрии в резонансных (p, γ)-реакциях¹¹. На рис.4а,б показаны спектры γ -квантов для трех детекторов, измеренные в реакции $^{19}F(p, \alpha\gamma)^{16}O$ и $^{11}B(p, \gamma)^{12}C$, спектры отнормированы по пику при энергии γ -квантов $E_\gamma = 4,44$ МэВ.

При определении зависимости абсолютных эффективностей регистрации γ -квантов от энергии E_γ использовался алгоритм из работы¹¹. Полученные результаты обобщены на рис.5 и в табл.2. В таблице также содержатся численные значения $(\Delta E/E)$ для трех γ -детекторов.

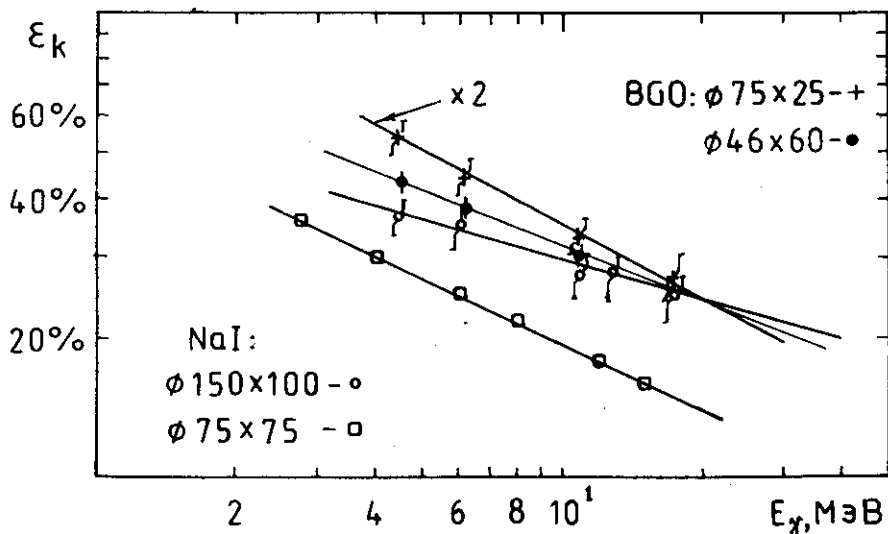


Рис.5. Эффективности регистрации γ -квантов кристаллами $NaI(Tl) \phi 150 \times 100$ мм² и $Bi_4Ge_3O_{12} \phi 75 \times 25$ мм², $\phi 46 \times 60$ мм², измеренные в резонансных (p, γ)-реакциях; данные для $NaI(Tl) \phi 75 \times 75$ мм² взяты для сравнения из работы¹⁶.

Энергия E_γ , МэВ	Эффективность регистрации $\epsilon_K(E_\gamma)$, %			Энергетическое разрешение $\Delta E/E$, %		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
4,44	38 ± 2	28 ± 3	43 ± 2	7,0 ± 0,1	12,6 ± 0,1	9,2 ± 0,1
6,13	36 ± 3	23 ± 4	38 ± 2	6,6 ± 0,1	11,1 ± 0,1	7,4 ± 0,1
10,8	30 ± 3	18 ± 5	30 ± 3	5,9 ± 0,2	9,6 ± 0,4	5,9 ± 0,3
17,23	26 ± 4	15 ± 4	21 ± 5	4,7 ± 0,3	6,1 ± 0,3	3,0 ± 0,5

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные результаты измерений показывают, что детекторы на основе кристаллов BGO сравнительно небольших размеров сопоставимы по эффективности регистрации γ -квантов ($E_\gamma = 4 \div 17$ МэВ) с NaI(Tl)-сцинтиллятором существенно больших размеров. Счетные эффективности регистрации нейтронов со средней энергией $E_n \approx 4$ МэВ от Pu(Be)-источника, отнормированные на единицу телесного угла, пропорциональны толщине слоя сцинтилляторов, чувствительность к нейтронам единицы объема NaI(Tl) и BGO примерно одинаковая.

Из экспериментальных данных по изучению жесткой компоненты γ -излучения в ядерных реакциях с тяжелыми ионами^{1,2,3} следует, что использование BGO-кристаллов позволяет повысить качество результатов экспериментов, связанных с измерением малых сечений образования γ -квантов (выход γ -квантов с $E_\gamma > 10$ МэВ порядка 10^{-4} на акт образования одного составного ядра) в присутствии интенсивного нейтронного фона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каманин В.В. и др. – Препринт ОИЯИ 13-86-375, Дубна, 1986.
2. Каманин В.В. и др. – Изв. АН СССР, 1986, т. 50, № 10, с. 1929.
3. Kamanin V.V. et al. – Zeit. für Phys. A, 1987, v. 327, p. 109.
4. Oblozinsky P., Hlavac S. – In: Proceedings of Europhysics Topical Conference on Neutron Induced Reactions. Smolenice, 1982, p. 397.
5. Obst A.W. et al. – Phys. Rev. C, 1972, v. 5, p. 738.
6. Grosswandt B., Waibel E. – Nucl. Instrum. and Methods, 1975, v. 131, N 1, p. 133.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 февраля 1989 года.