

ВРЕМЕННЫЕ И АМПЛИТУДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ КРИСТАЛЛОВ

И.Багатурия*, Б.Чиладзе**, М.Ниорадзе**, Ю.Тевзадзе**, И.Треков**

** Университет им. И. Чавчавадзе, Тбилиси * Институт Физики Высоких Энергий
им.И. Джавахишвили Тбилисского Государственного Университета*

Аннотация.

Изучаются временные и амплитудные характеристики неорганических (NaI(Tl)-йодида натрия, CsI(Tl)-йодида цезия, BGO-германата висмута) и органического (C₁₄H₁₂-стильбен) сцинтилляционных кристаллов. Сцинтилляционные кристаллы являются основной частью (вместе с ФЭУ-фотоэлектронными умножителями) электромагнитного калориметра –ECAL. ECAL является основным детектором (вместе Straw Tracker) международного сотрудничества COMET-Coherent Muon to Electron Transition [1].

Основной целью COMET является выяснить существует ли Новая Физика-“New Physics”- физика за СМ-стандартной моделью.

ИФВЭ ТГУ является членом COMET сотрудничества.

Введение.

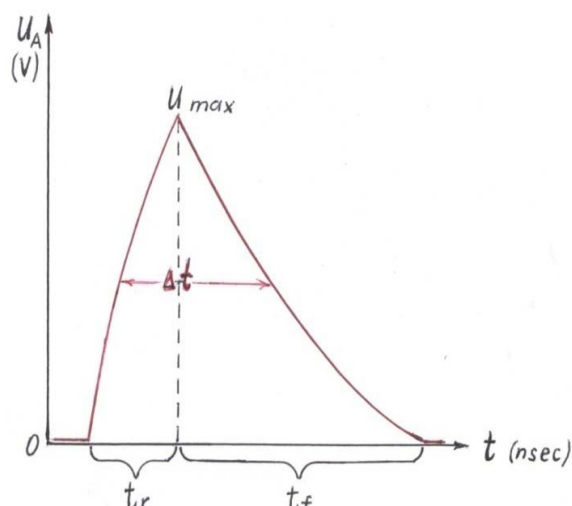
Характеристики Ск- сцинтилляционных кристаллов изучаем с помощью космических μ -мюонов, которые выделяем из космики специальным стендом (см. рис.2) Назначение ECAL- точное измерение энергии электронов из $\mu^- \rightarrow e^-$ конверсии. Для этого ECAL должны собрать из Ск-ов с высокими временными и амплитудными характеристиками.

В экспериментах физики высоких энергии сцинтилляционные кристаллы находят широкое применение, как детекторы излучения. Возникает вопрос какие кристаллы надо использовать для решения той или иной физической задачи. Необходимо знать такие характеристики кристаллов как: выходная амплитуда, время высвечивания, радиус Мольера, неоднородность, радиационная и термальная стабильность, ...

В данном случае характеристики кристаллов изучаются, когда на объект (кристалл) падают космические μ -мюоны, которые выделяем из космики с помощью толстого и тяжёлого поглотителя и схемы совпадения.

С помощью нашего стенда определяем следующие характеристики кристаллов:

- а) U_A - амплитуда выходного импульса;
- б) Временные характеристики $-\Delta t$ (полная ширина спектра на половине от его максимума – ПШПМ);
- t_r – время необходимое для достижения максимального значения амплитуды;
- t_f – время спада импульса до минимального значения амплитуды (фактически это время высвечивания кристалла) (рис.1)

рис.1 Зависимость U_A –амплитуды от t -времени

Наш стенд (установка) (рис.2) состоит из следующих частей: сцинтиллятор -А, вместе фотоэлектронным умножителем ФЭУ-84-3(PMT1) – основная часть установки (рис.2б); светонепроницаемый, черный ящик -С, вместе с ФЭУ(PMT2)ХР-2012.10(рис.2а).

Между сцинтиллятором А и черным ящиком –С находится тяжёлый поглотитель – В Толщина поглотителя выбрана таким расчетом, что через него проходили только μ -мюоны. Кроме того, сигналы выходящие от сцинтиллятора – А(ФЭУ-84-3(PMT1)) и от черного ящика С(ФЭУ-РМТ2(ХР-2012.10)) передаются на осциллоскоп DSO32А. Таким образом форма импульса, амплитуда импульса и временные характеристики выводятся на экране осциллоскопа.



Рис.2а. Черный ящик

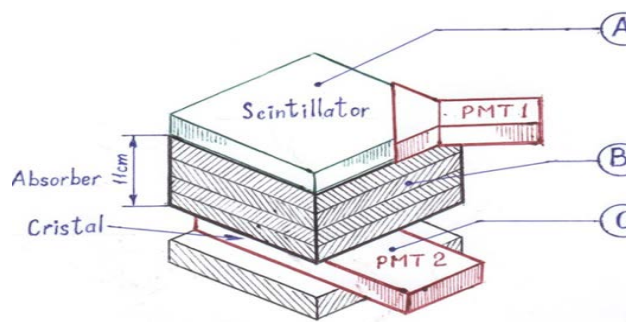
Рис.2б. Установка для выделения из космики μ -мюонов

Рис.2в. Схема космического эксперимента

Анализ Экспериментальных Данных

Определяем характеристики неорганических (NaI(Tl)-йодида натрия, CsI(Tl)-йодида цезия, BGO-германата висмута) и органического (C₁₄H₁₂-стильбен) сцинтилляторов. В таблице и на рисунках приведены средние значения характеристик сцинтилляторов. Таблица

Временные и амплитудные характеристики сцинтилляционных кристаллов; приведены также размеры исследуемых кристаллов

Тип кристалла	L[см]	$\langle t_r \rangle$ [nsec]	$\langle t_f \rangle$ [nsec]	$\langle \Delta t \rangle$ [nsec]	$\langle U_A \rangle v$	R _M [см]
NaI(Tl)	*	6.80±0.44	280±20	230±40.00	1.62±0.140	4.80
CsI(Tl)	20x2x4.5	4.60±0.20	1280±80	351±12.00	0.140±0.006	3.57
BGO	3x3x3	4.80±0.40	450±38	110±6.00	0.400±0.020	2.30
C ₁₄ H ₁₂	**	5.00±0.35	9.20±0.50	10.20±0.33	5.100±0.330	

*длина 4.5 см; радиус цилиндра 4.5 см; ** длина 20 см; радиус цилиндра 4.8 см

Из таблицы видно, что $\langle t_r \rangle$ - среднее время роста импульса (до максимального значения амплитуды) для разных кристаллов практически не отличаются друг от друга и равно ~5nsec. (см. также рис. 3,4,5,6

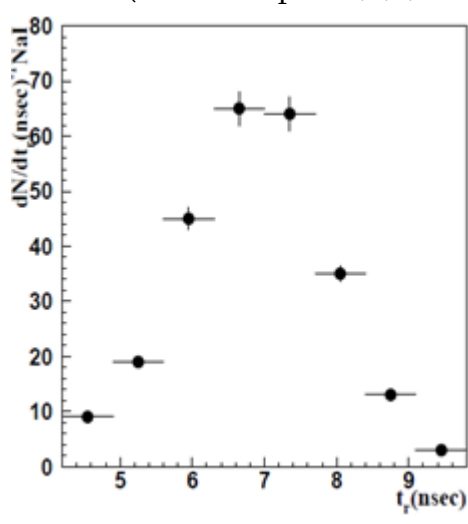


Рис.3 t_r -время фронта для кристалла NaI(Tl) $\langle t_r \rangle = (6.80 \pm 0.44)$ nsec

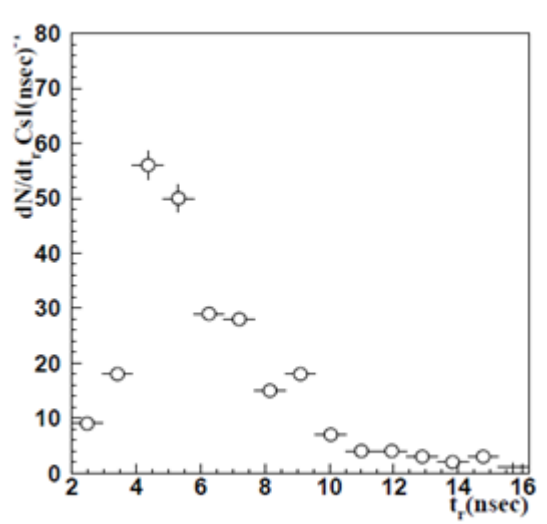


Рис.4 То же, что и на рис.3, только для CsI(Tl) $\langle t_r \rangle = (4.60 \pm 0.20)$ nsec

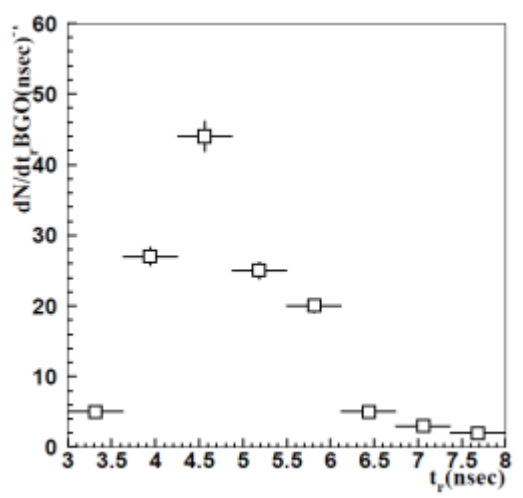


Рис.5 То же, что и на рис.3, только для BGO
 $\langle t_r \rangle = (4.80 \pm 0.40) \text{ nsec}$

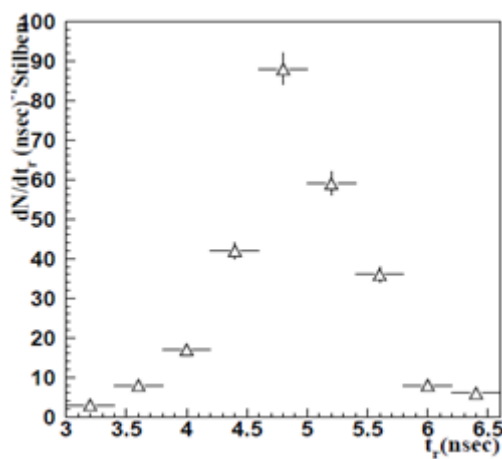


Рис.6 То же, что и на рис.3, только для C14H12
 $\langle t_r \rangle = (5.00 \pm 0.35) \text{ nsec}$

Средние значения времени спада импульса (времени высвечивания) $\langle t_r \rangle$ не плохо согласуются с литературными данными; напр. для йодида цезия $\langle t_r \rangle = (1280 \pm 80) \text{ nsec}$ (наш результат) ; а, в литературе [2] $\langle t_r \rangle = 1300 \text{ nsec}$; для BGO-германата висмута $\langle t_r \rangle = (450 \pm 38) \text{ nsec}$; а, в литературе [2] $\langle t_r \rangle = 400 \text{ nsec}$.

Из таблицы видно, что $\langle t_r \rangle$ -средние значения для разных кристаллов существенно различаются; то же самое следует из литературных данных [2].

Существенно различаются также значения Δt -средняя ширина импульса (Δt определяет временное разрешение кристалла) и U_A -значения выходного импульса, разных кристаллов; следовательно кристаллы имеют разные значения R_m -радиуса Мольер. (табл. и рис. 7,8,9,10; 11,12,13,14)

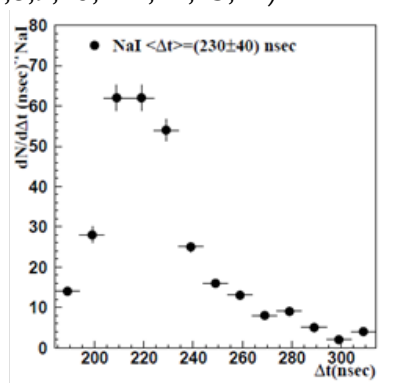


рис.7 средняя ширина импульса для кристалла NaI(Tl)

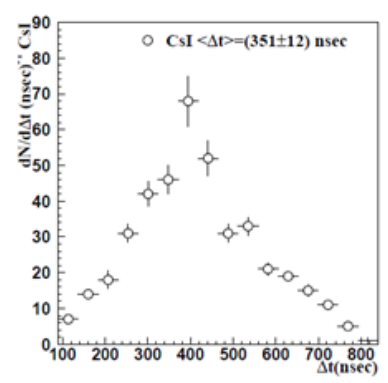


Рис.8 То же, что и на рис.7, только для CsI(Tl)

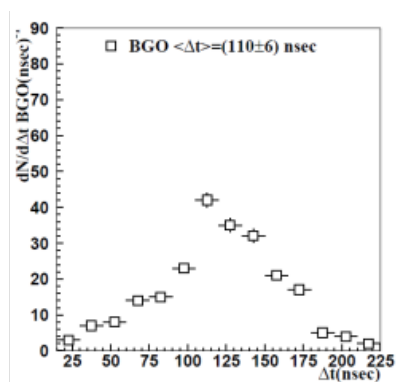


Рис.9 То же, что и на рис.7, только для BGO

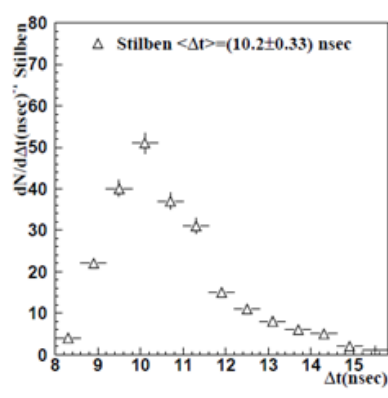


Рис.10 То же, что и на рис.7, только для C14H12

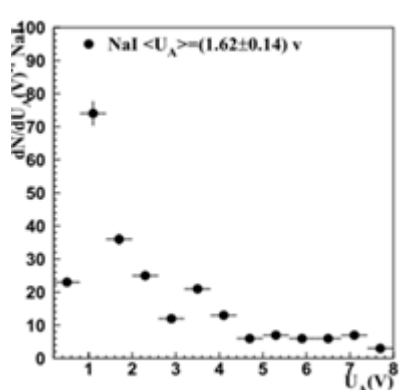


рис.11. среднее значение выходного импульса для кристалла NaI(Tl)

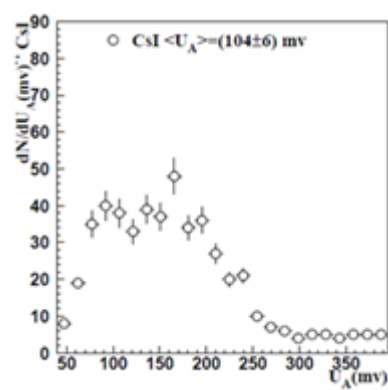


Рис.12 То же, что и на рис.11, только для CsI(Tl)

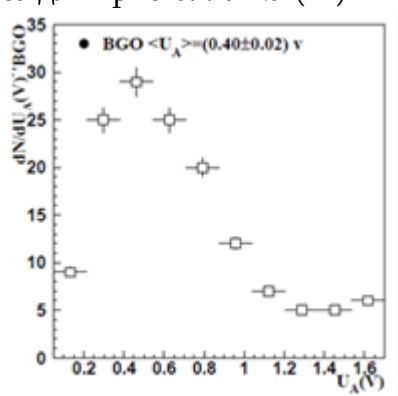


Рис.13 То же, что и на рис.11, только для BGO

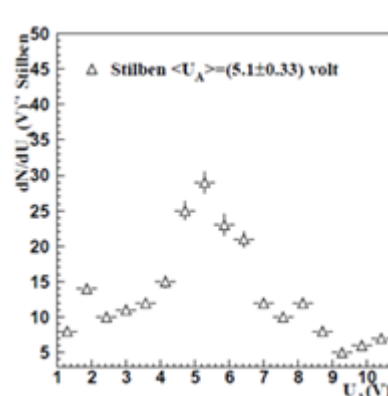


Рис.14 То же, что и на рис.11, только для C14H12

Сравним между собой характеристики разных сцинтилляционных кристаллов: U_A -значение выходного импульса у йодида натрия - NaI(Tl) равно $\langle U_A \rangle = (1.620 \pm 0.140) \text{ v}$ (он также имеет высокий световой выход – количество высвечиваемых фотонов составляет $\sim 4.10(4)/\text{MeV}$), но его время высвечивания равно $(280 \pm 20) \text{ nsec}$ (в литературе $\sim 230 \text{ nsec}$). Поэтому йодид натрия, как и йодид цезия и германат висмута, считаются медленными кристаллами (несмотря на то, что средние значения выходных импульсов, не так уж малы)

Стильбен -C₁₄H₁₂ обладает очень малым временем высвечивания - $t_f=(9.20\pm0.50)\text{nsec}$ (а в литературе $\approx 6\text{nsec}$) [3] и малым значением Δt – ширины распределения и самым большим значением выходного импульса (см. табл. рис. 10 и 14)

Световой выход и время высвечивания стильбена (и, вообще, органических кристаллов) зависят от их размеров. Органические сцинтилляторы обладают свойством анизотропии светового выхода, которая уменьшается с ростом энергий заряжённых частиц подающих на кристалл. Кроме того нет пропорциональности между значением выходного импульса с энергией частицы падающей на кристалл. Плотность кристалла мала -- $\rho=1.1\text{gr.cm}^{-3}$.

Закключение Изучение характеристик сцинтилляционных кристаллов показал, что:

- а) $\langle U_A \rangle$ -средние значения выходных импульсов кристаллов имеют следующие значения: $(1.620\pm0.140)v$, $(0.140\pm0.006)v$, $(0.400\pm0.020)v$, для NaI(Tl), CsI(Tl) и BGO соответственно;
 - б) средние значения t_f времени высвечивания (для CsI(Tl) и BGO) хорошо согласуются с литературными данными;
 - в) Интересно исследовать геометрическую неоднородность кристаллов, но с помощью космических μ -мюонов, это невозможно сделать. Для этого необходимо использовать радиоактивный источник или светодиод
- P.S. В дальнейшем планируется изучение характеристик кристаллов LYSO – силиката лютеция и GSO-силиката гадолиния.

Литература

1. COMET. Phase-I. Technical Design Report, January, 2014.(GOOGLE);
2. Акимов Ю.К. Фотонные Методы Регистрации излучений , Дубна, 2006;
3. Основы Экспериментальных Методов Ядерной Физики. А.И.Абрамов, Ю.А.Казанский, Е.С.Матусевич , Москва 1985

Article received on: 2015-12-07