

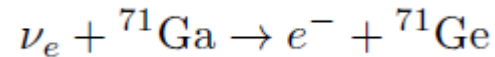
О возможности создания твердотельного галлий содержащего сцинтилляционного детектора для проверки галлиевой аномалии

В.Н.Гаврин, Д.М.Воронин, Б.К.Лубсандоржиев,
А.Н.Сидоренков, Н.А. Ушаков

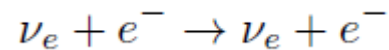
от имени коллектива проекта ББНТ

Использование сцинтиллятора GAGG для исследования галлиевой аномалии в on-line эксперименте

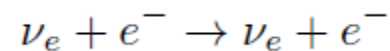
P.Huber. arXiv:2209.02885



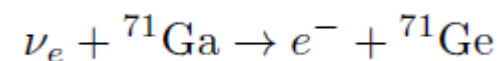
$$E_c = E_\nu - Q_c \simeq 510 \text{ keV}$$



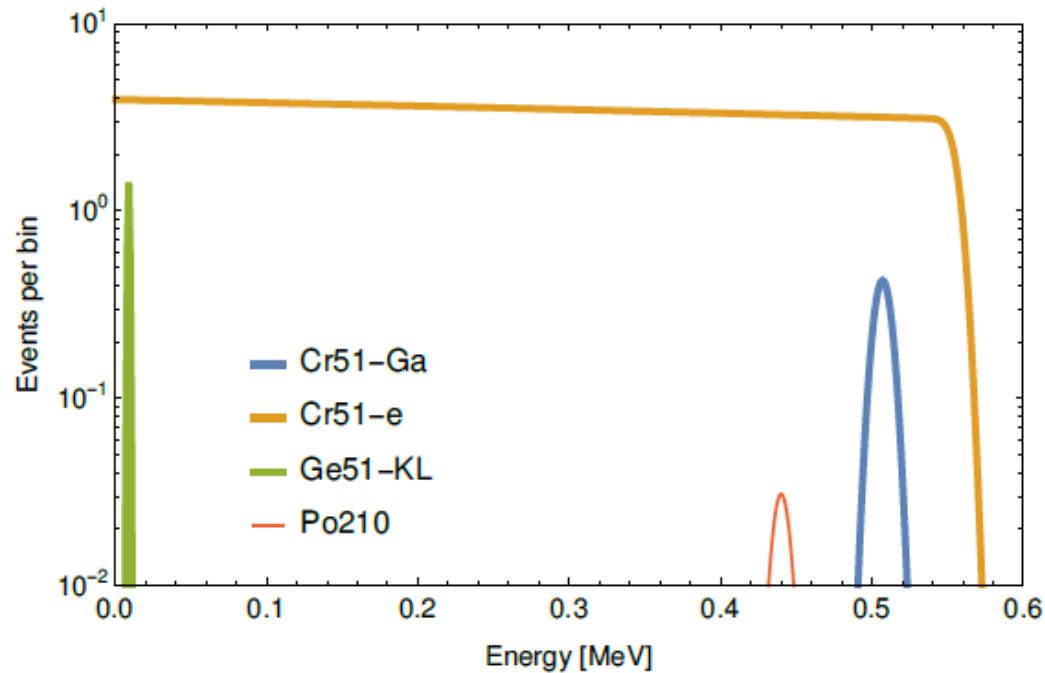
- Измерение активности источника Cr51



- Измерение сечения захвата на Ga71



- определение эффективности радиохимического детектирования



LY = 60000 фотонов/МэВ

τ - ~100 нс

3,4 МКи Cr51

1,5 тонны GAGG (40см детектор)

80 дней

68 тыс. событий от рассеяния

210 событий от захвата

Высокое энергетическое и пространственное разрешение
(1% 510кэВ и 8-9% 9кэВ) (0,6 см)

Анализ сигнатуры событий позволит подавить фон от рассеяния нейтрино

И получить отношение сигнал/шум 1:0,15

80 событий от захвата и 11 событий рассеяния.

5 σ проверка галлиевой аномалии!

P. Huber. 2022

GAGG for testing Gallium Anomaly

N. Solomey et al. 2022

GAGG for near-Solar neutrino detector

GAGG – $\text{Gd}_3\text{Ga}_3\text{Al}_2\text{O}_{12}(\text{Ce})$

ГАГГ – гадолиний-алюминий-галлиевый гранат

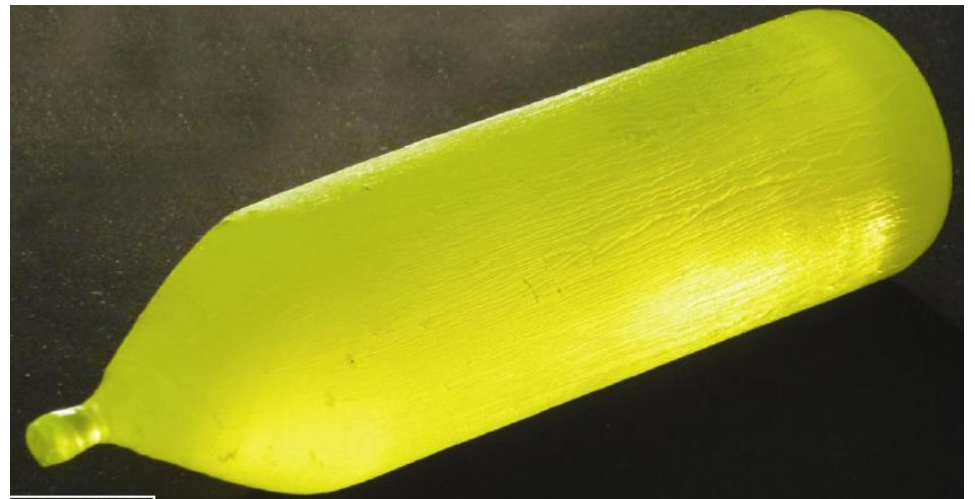
$\lambda_{\text{max}} \sim 540 \text{ нм}$

$\text{LY} \sim 30000 - 70000 \text{ } \gamma/\text{МэВ}$

$\tau_1 \sim 10-90 \text{ нс}$

$\tau_2 \sim 150-250 \text{ нс},$

$\tau_3 \sim > 300-400 \text{ нс}$



$\rho \sim 6,63 \text{ г/см}^3$

$\lambda_{\text{att}} \sim 60 \text{ см}$

$n \sim 1,9 \text{ (540 нм)}$

Негигроскопичен

Кристалл

Керамика!

Доля Ga – 22% (Ga71 – 8,8%)

Furukawa (Япония)

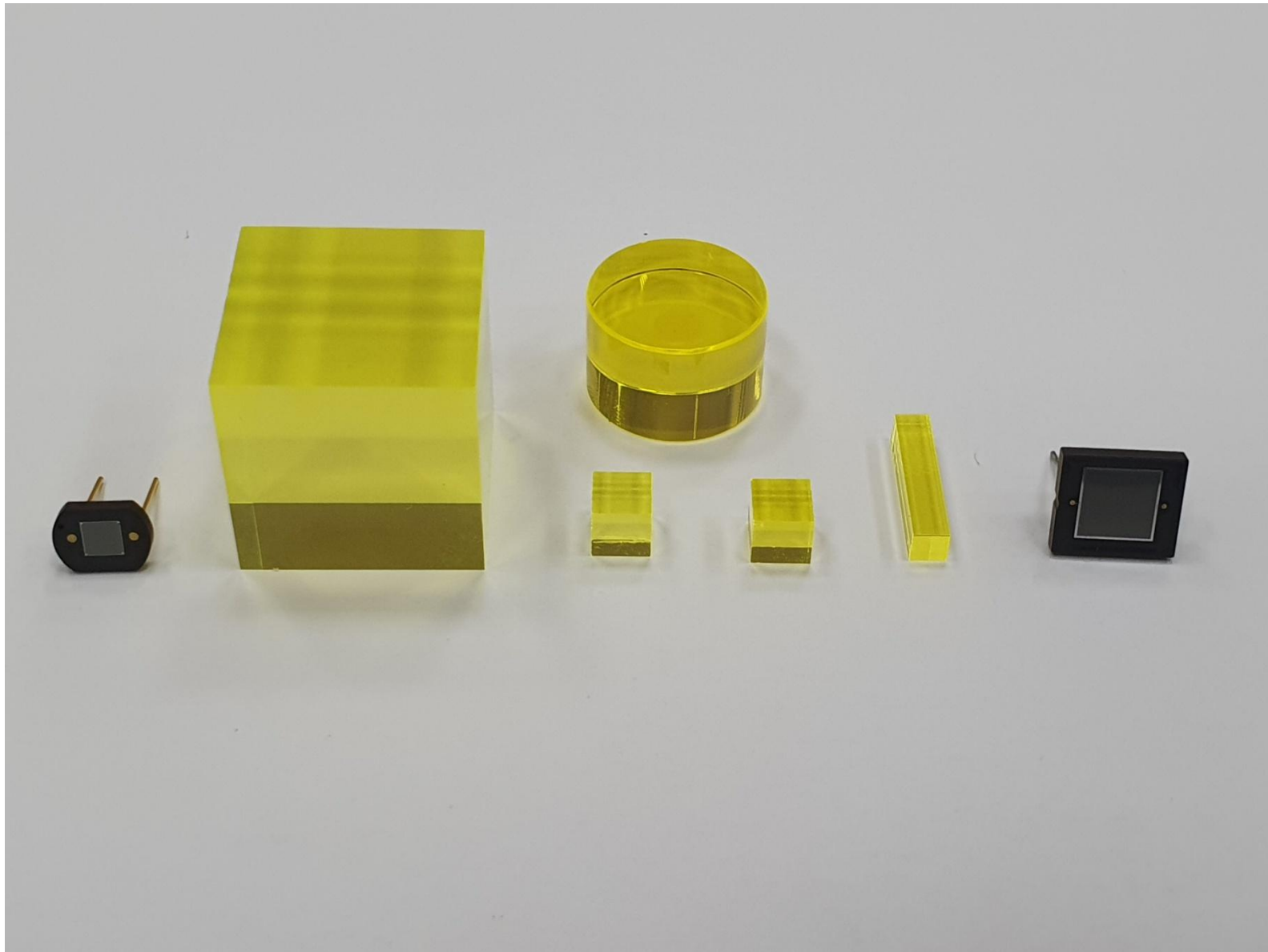
Еріс (Китай)

Hangzhou Shalom (Китай)

ІМ (Китай)

Фомос (Россия)

ИНХ СО РАН (Россия)



Hamamatsu MPPC S13360-6050CS / 6*6 / 11400 pixels

Hamamatsu MPPC S13360-6075CS / 6*6 / 6400 pixels

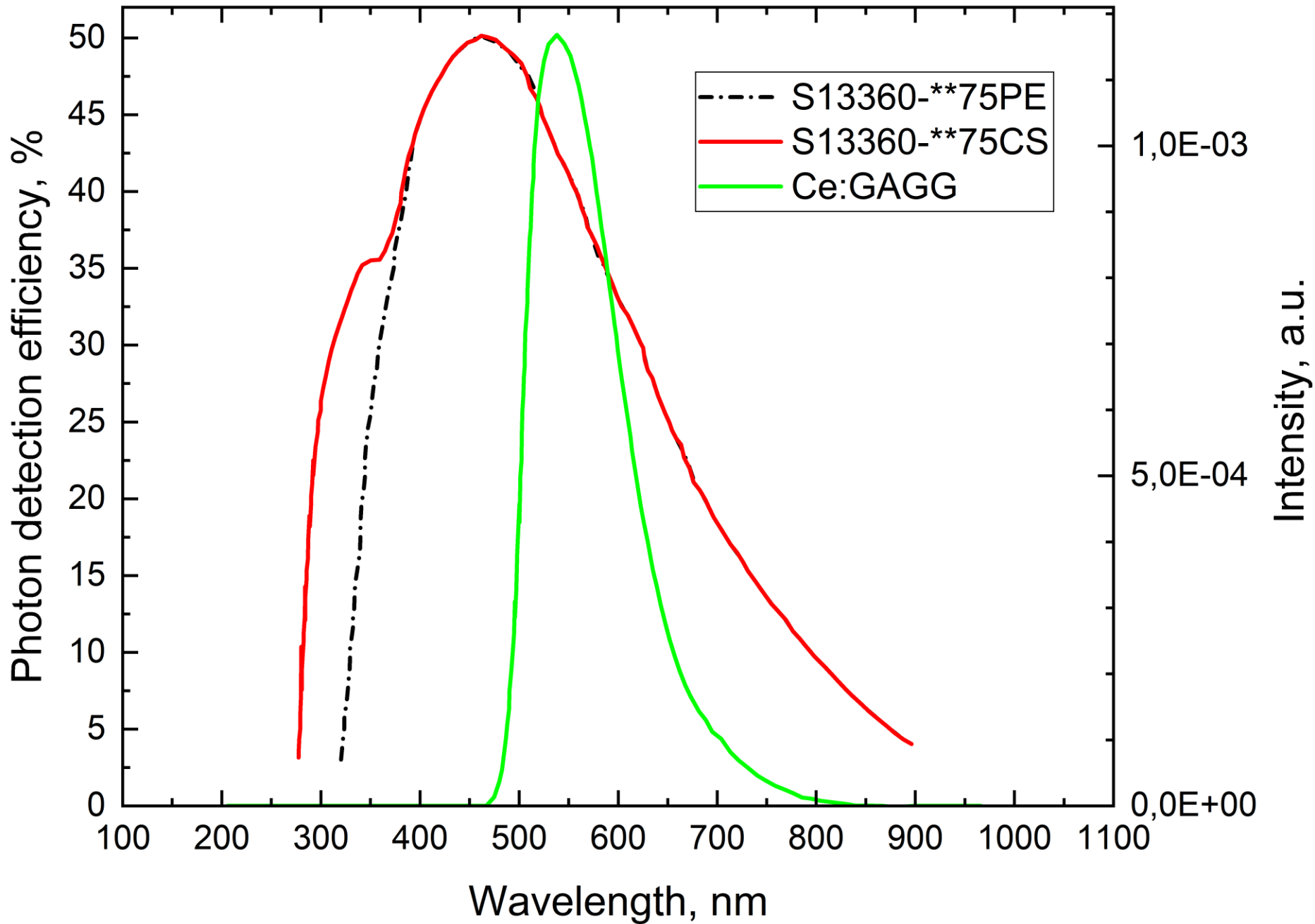
NDL EQR15 11-6060D-S / 6*6 / 160000 pixels!

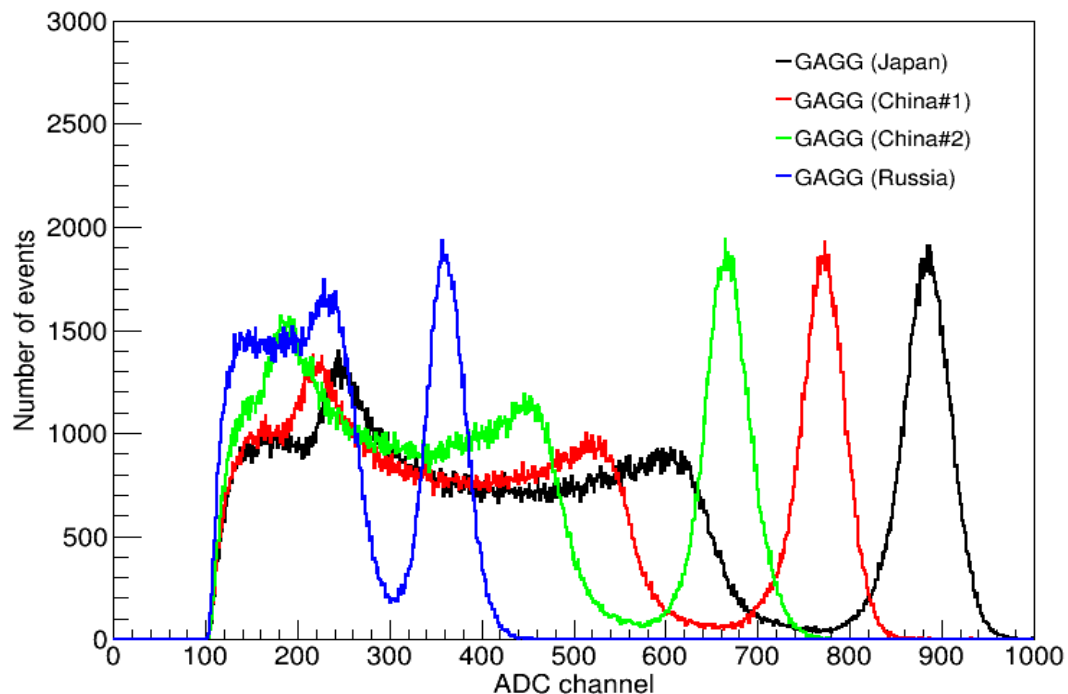
SensL MICROFC-60035-SMT-TR / 6*6 / 18980 pixels

SensL MicroSB-30035-X13 / 3*3 / 4774 pixels

Hamamatsu, SensL, KETEK, NDL, FBK,

Пульсар,???





GAGG (5 mm³); XP5301B (HQE)

Образец кристаллического сцинтиллятора	Энергетическое разрешение, %	Световыход, отн. ед.
1. GAGG(Ce)(Япония)	6,77	1
2. GAGG(Ce)(Китай) №1	7,17	0,87
3. GAGG(Ce)(Китай) №2	8,55	0,75
4. GAGG(Ce)(Россия)	13,7	0,41

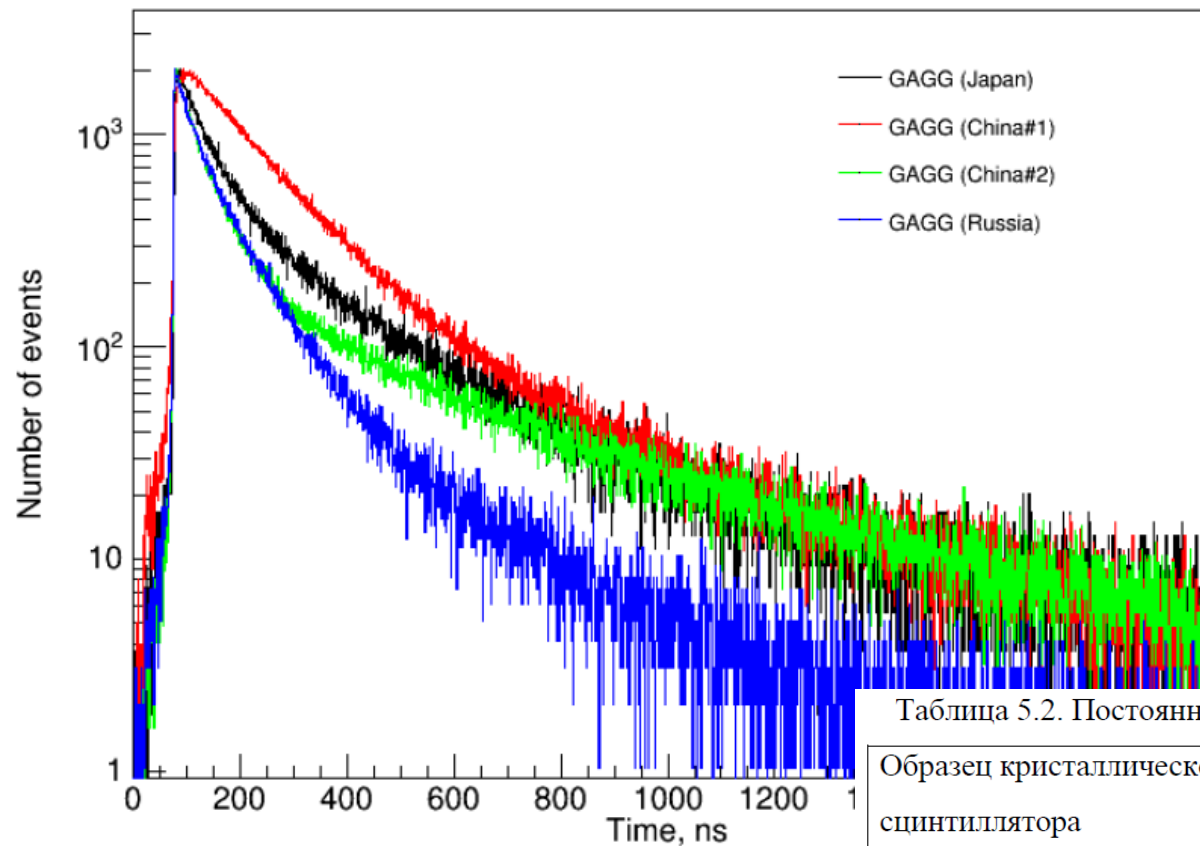
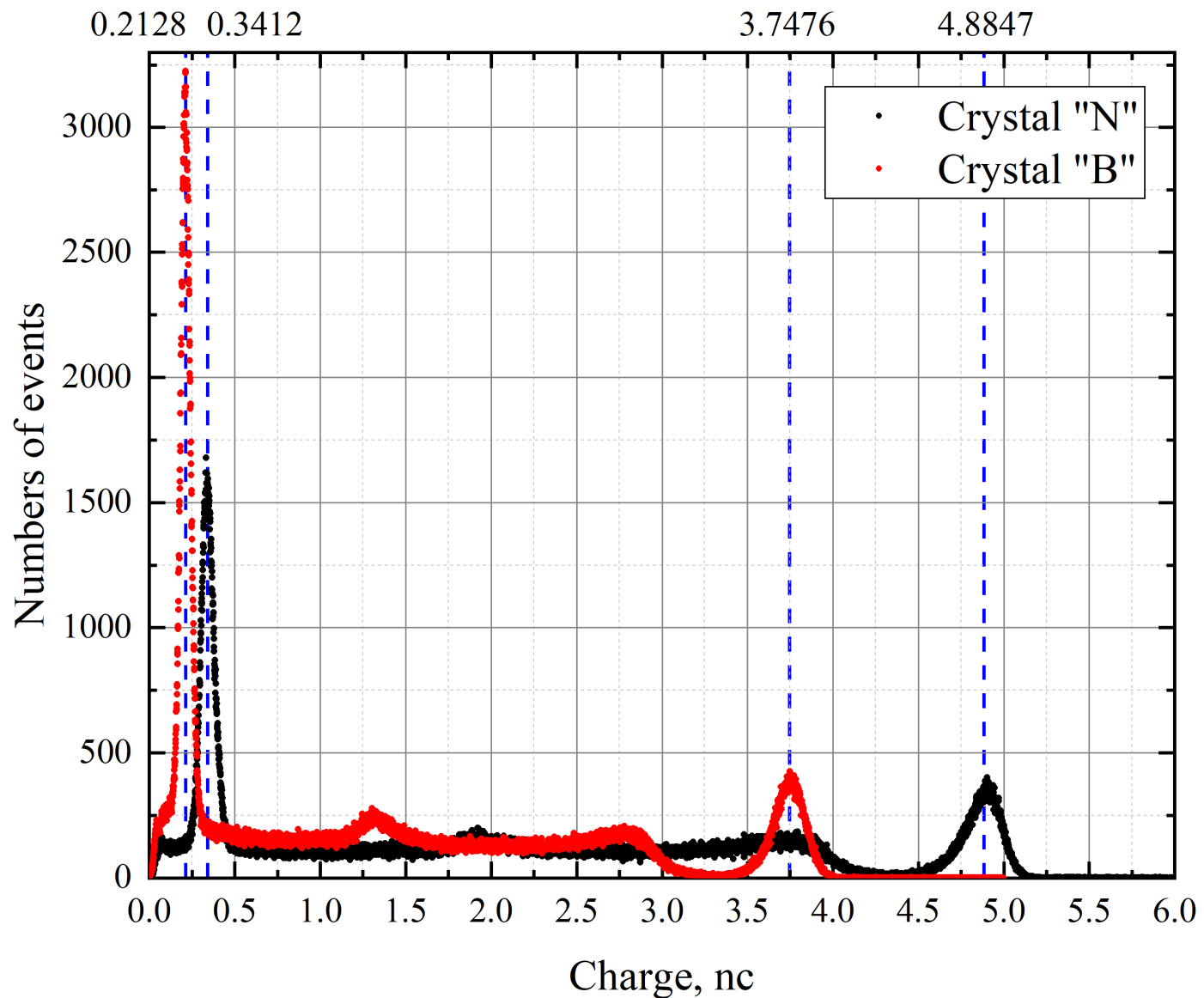


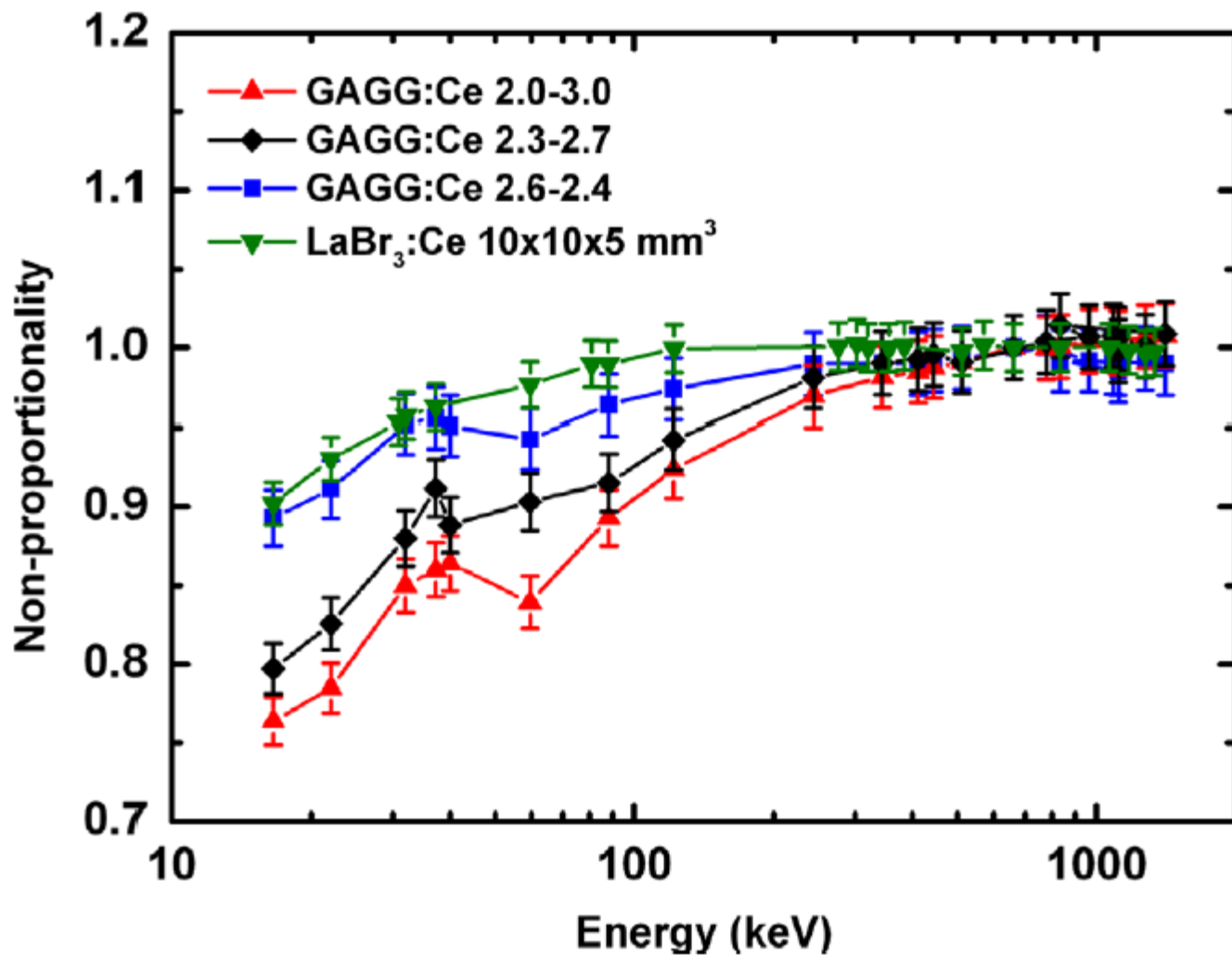
Таблица 5.2. Постоянные времени высвечивания кристаллов GAGG(Ce).

Образец кристаллического сцинтиллятора	τ_1 , нс	τ_2 , нс	τ_3 , нс	τ_4 , нс
1. GAGG(Ce) (Япония)	43,38 (17,8%)	90,22 (24,7%)	295,03 (52,2%)	2857 (5,2%)
2. GAGG(Ce) (Китай) №1	140,4 (77,8%)	497,18 (21,8%)	-	-
3. GAGG(Ce) (Китай) №2	35,44 (15,2%)	65,72 (33%)	343,06 (40,5%)	1281 (11,3%)
4. GAGG(Ce) (Россия)	27,49 (13,1%)	81,79 (61%)	189,13 (18,9%)	488 (7%)

Воронин Д.М., Сидоренков А.Ю., Ушаков Н.А.



GAGG (5 mm³): N – crystal ; B – **ceramic!** SiPM – MPPC S13360-6075CS (6x6 mm²)



Прозрачная керамика!

Pros:

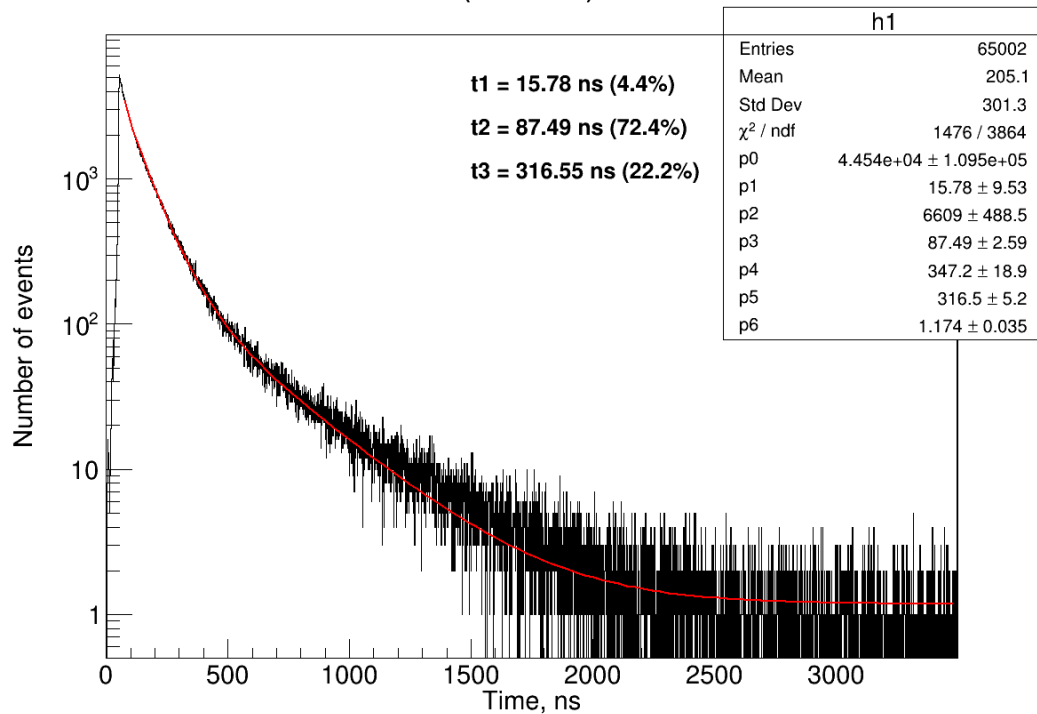
- Световыход;

- Производство (Проще? Дешевле?)

Cons:

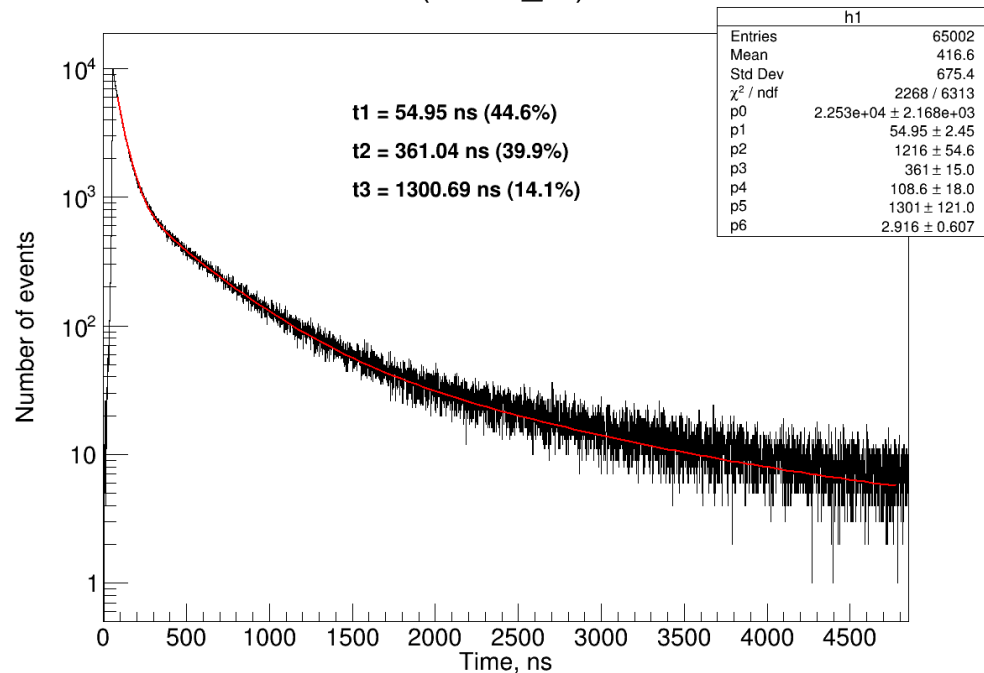
- Кинетика?

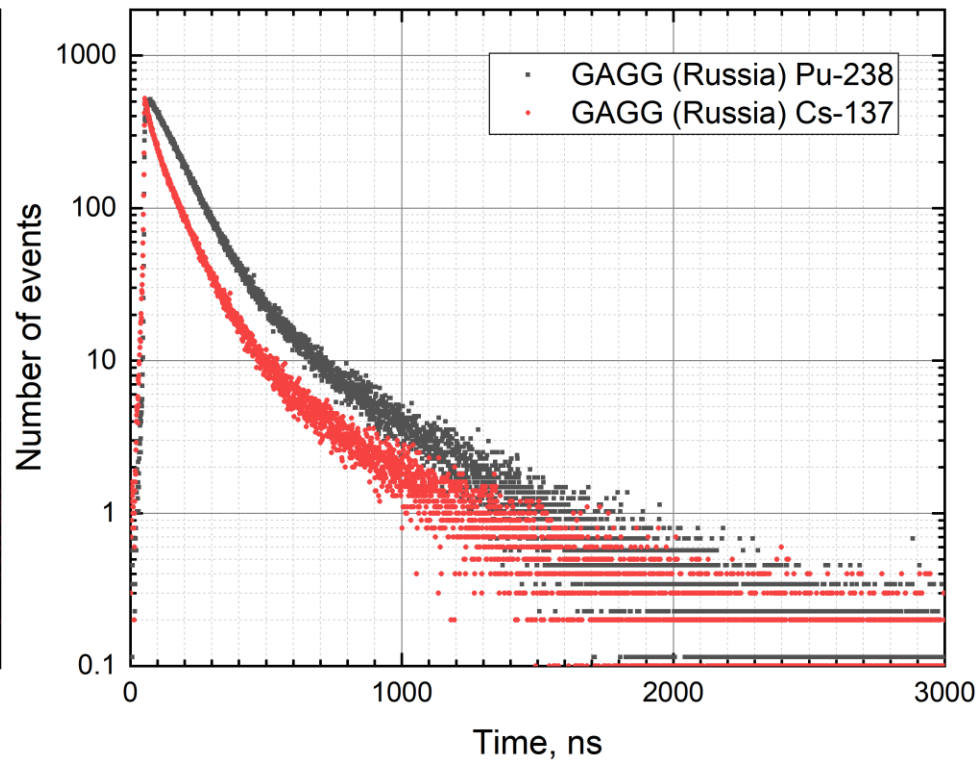
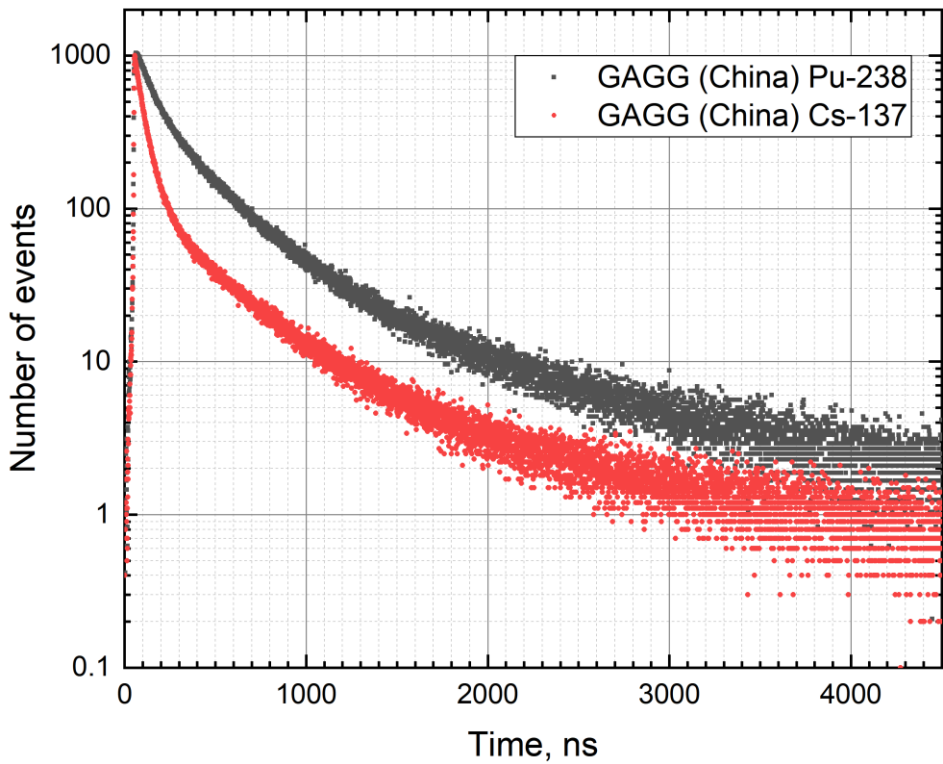
GAGG (Russia) Cs-137

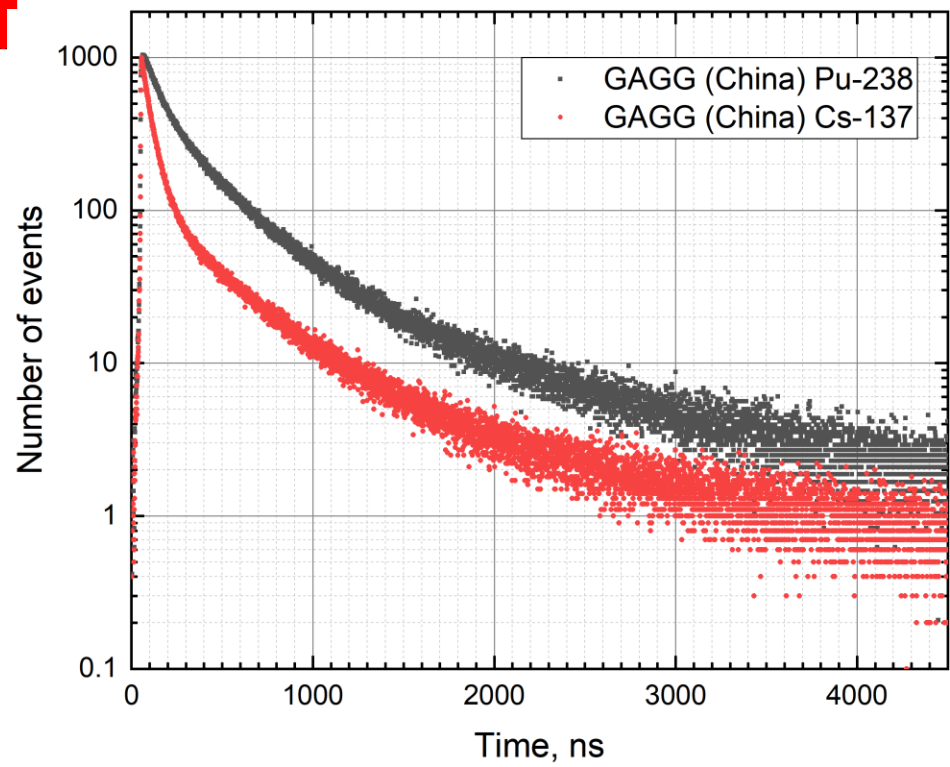
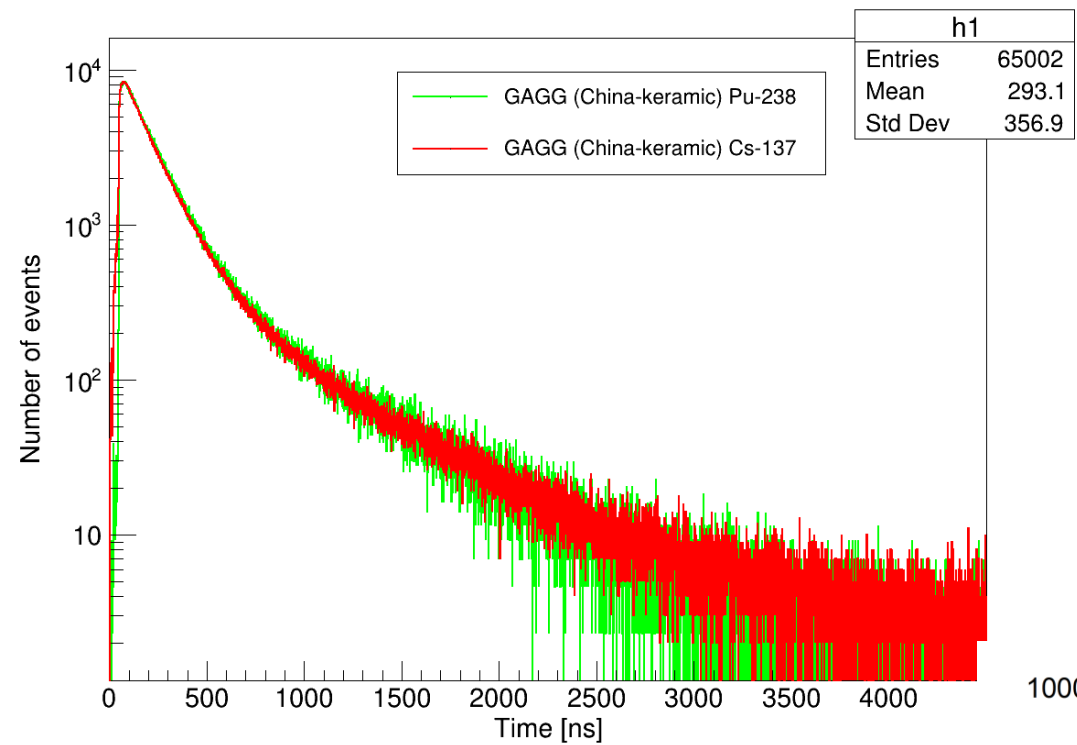


A.Ю Сидоренков

GAGG (China_W) Cs-137



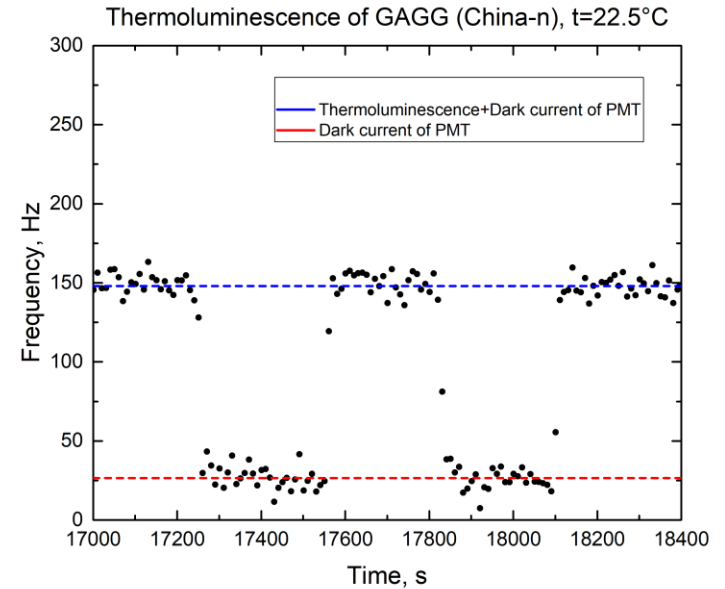
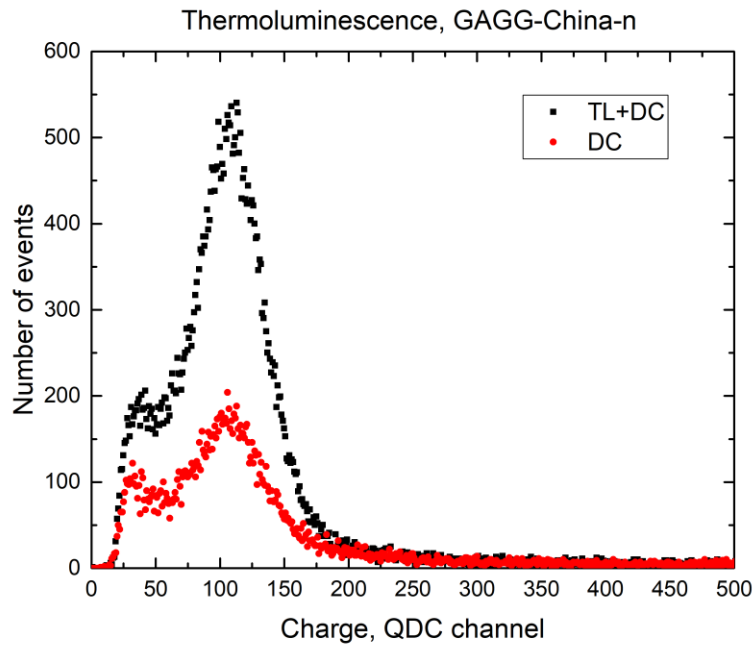
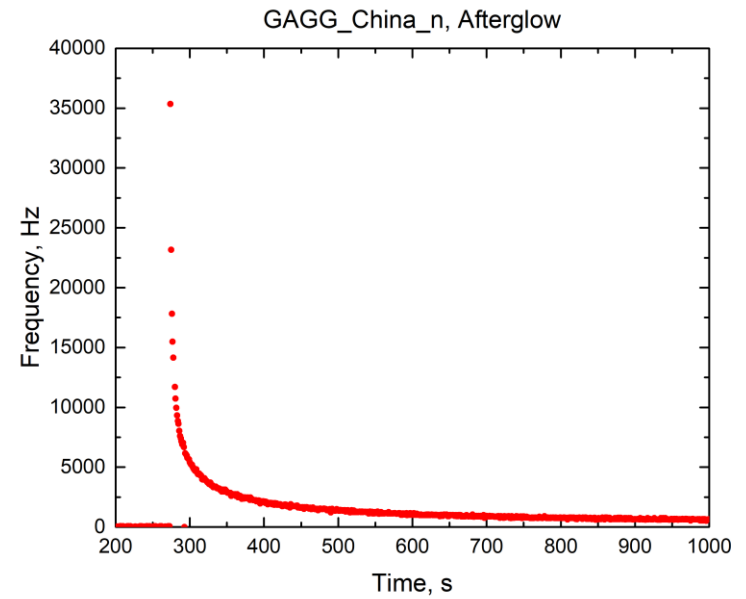
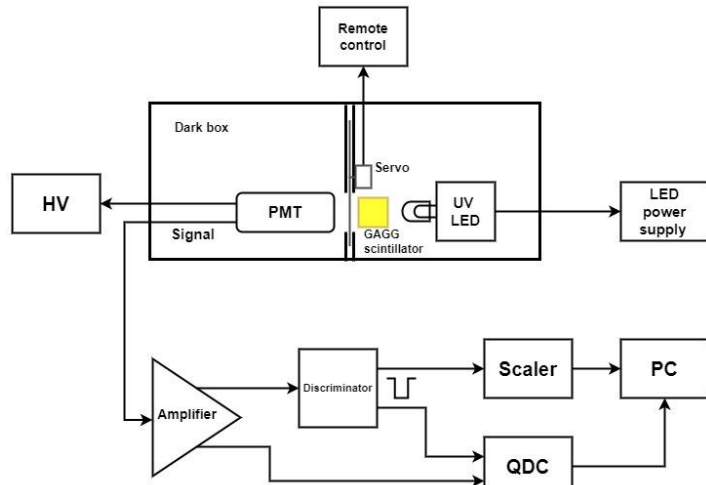


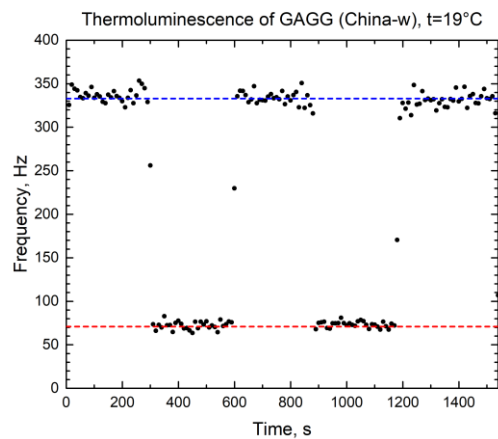
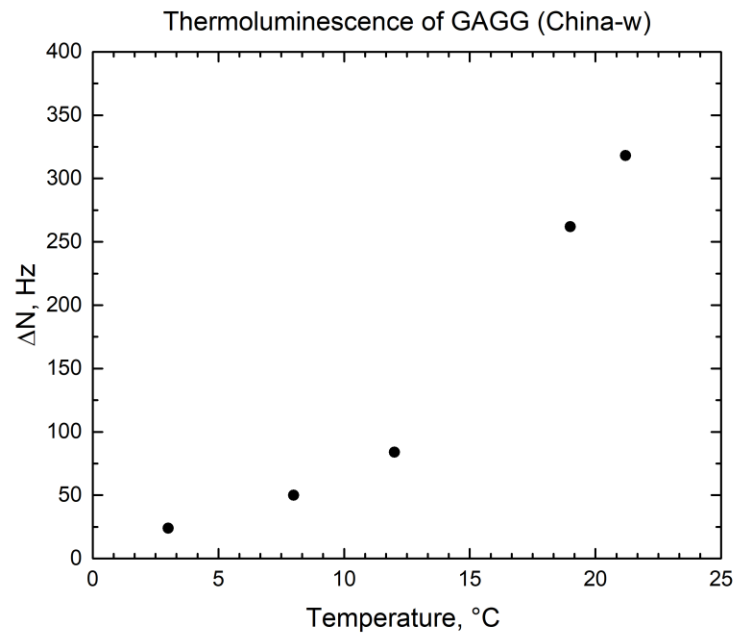
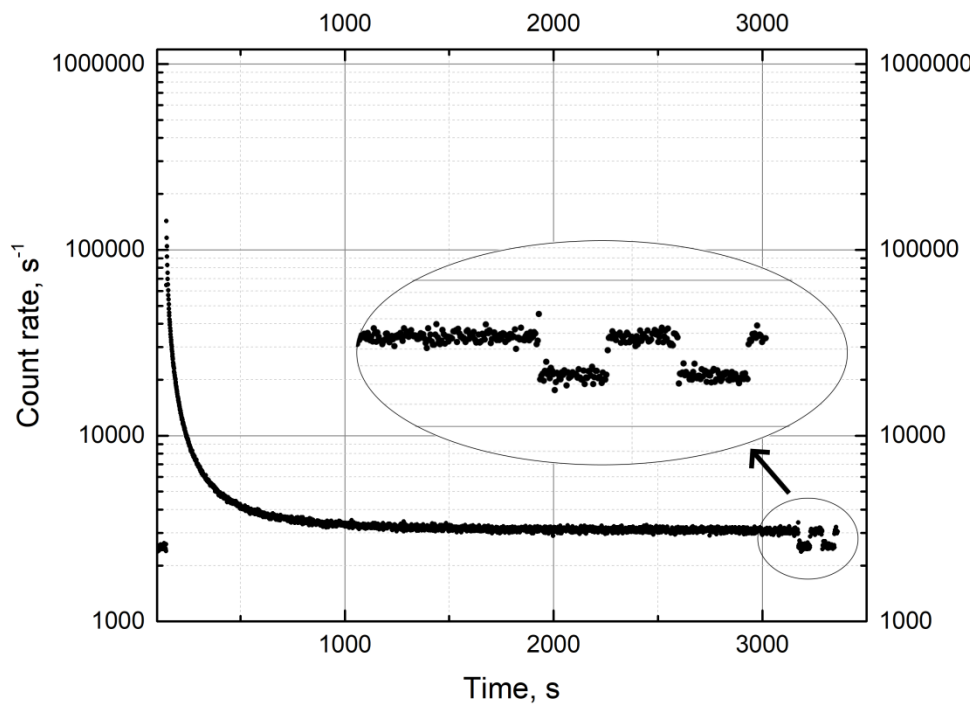


Послесвечение - ~ суток

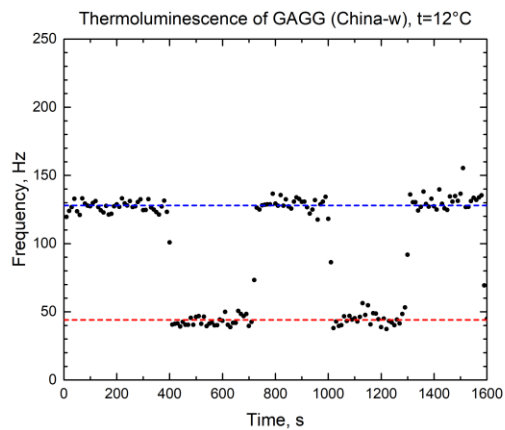
Термолюминесценция

Д.М.Воронин, А.Ю.Сидоренков

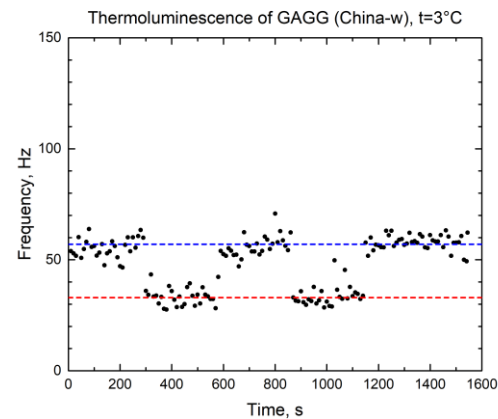




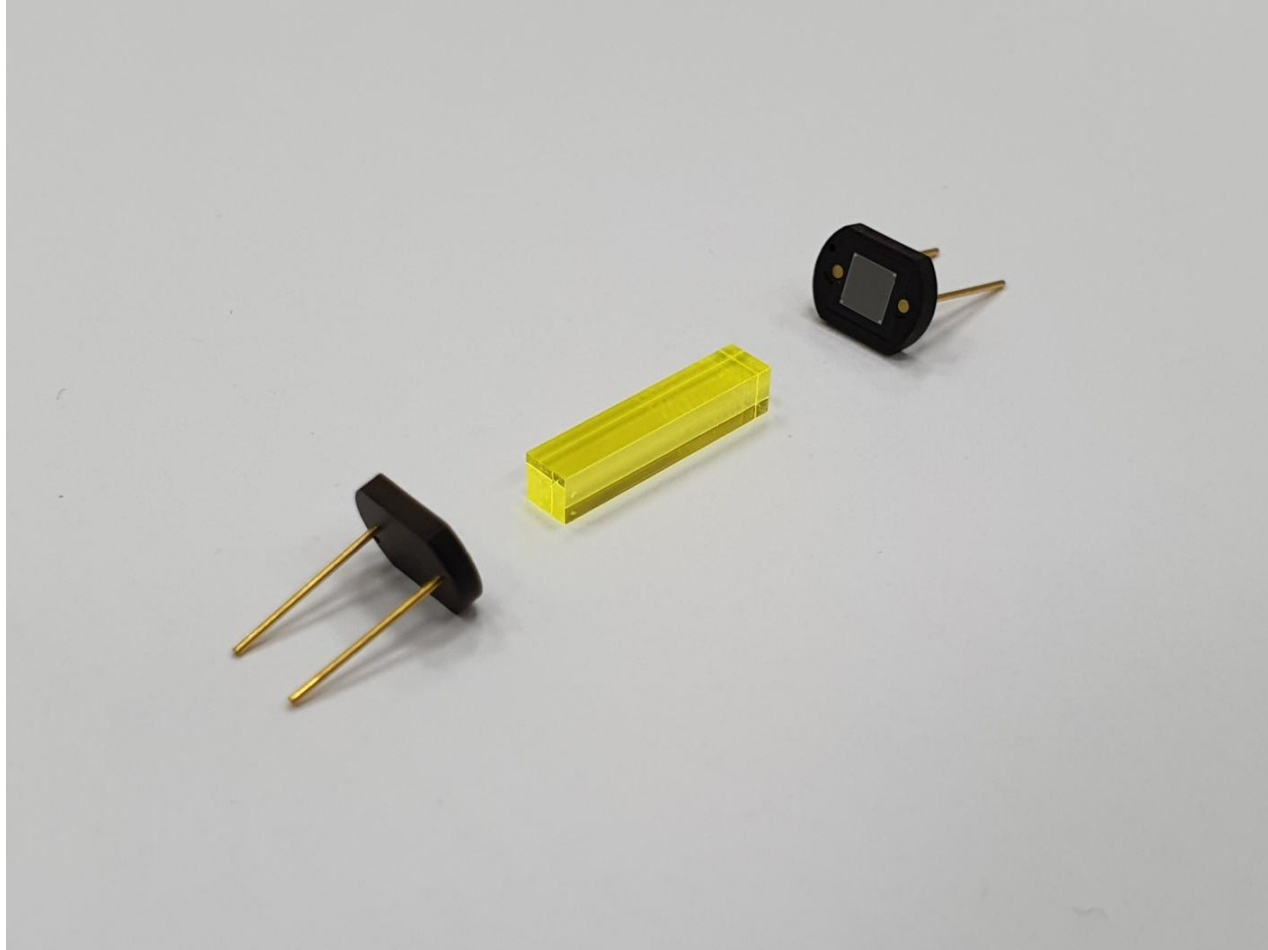
$T = 19^{\circ}C$



$T = 12^{\circ}C$



$T = 3^{\circ}C$



Временное разрешение – 10 пс или лучше!?

1x10 см² доступны сегодня,

1x30 см²?! 1x1 см² МРРС доступны!

Разработка прототипа ячейки детектора GAGG+2xSiPM

GAGG – 3x3x100 мм²; 5x5x100 мм²

SiPM – MPPC S13360-6075CS

~280 т.р.

Световыход – 60000÷70000 фотонов/МэВ



~20000 ф.э./МэВ – **реальность!!!**



< 10 пс временное разрешение – **реальность!!!**



Создание твердотельного галлиевого сцинтиллятора
для исследования галлиевой аномалии – **Возможно!!!**

Пессимистическая оценка

1 г GAGG – 3 USD

1,5 тонны GAGG – 4,5 млн USD

Оптимистическая оценка

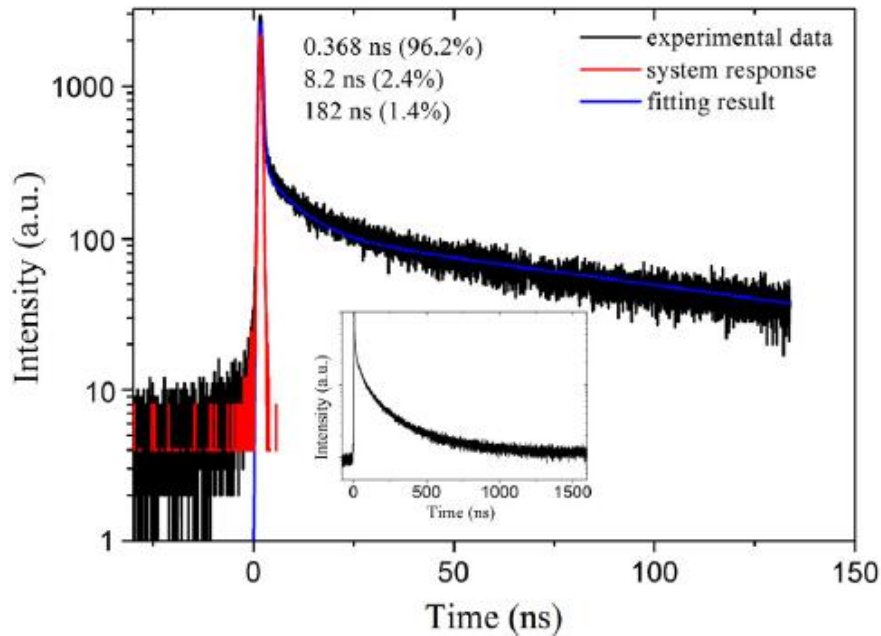
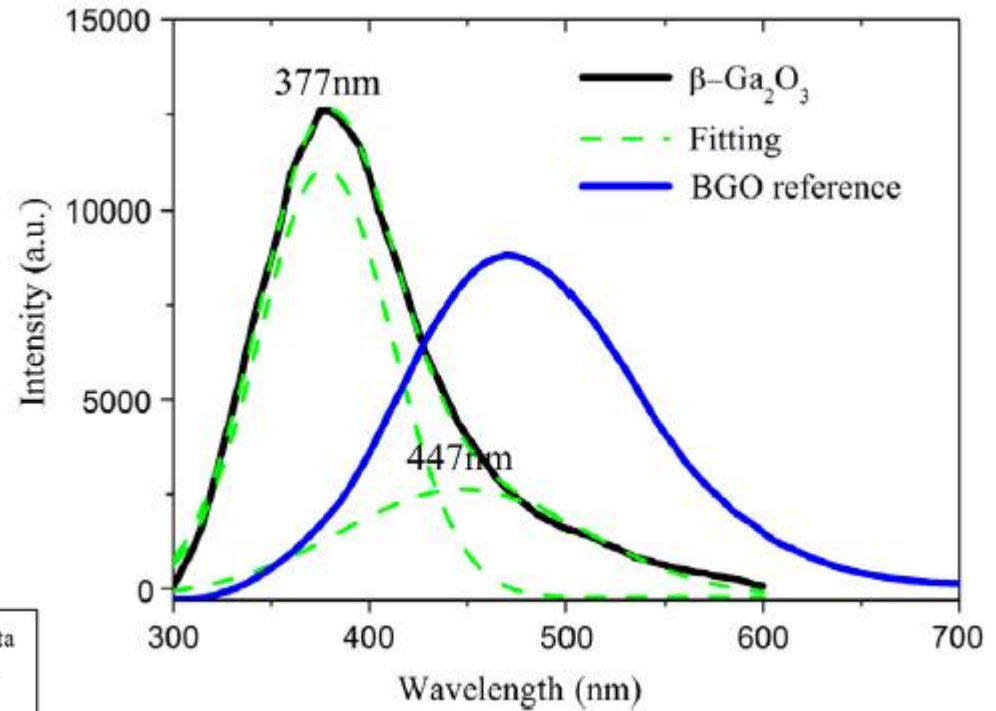
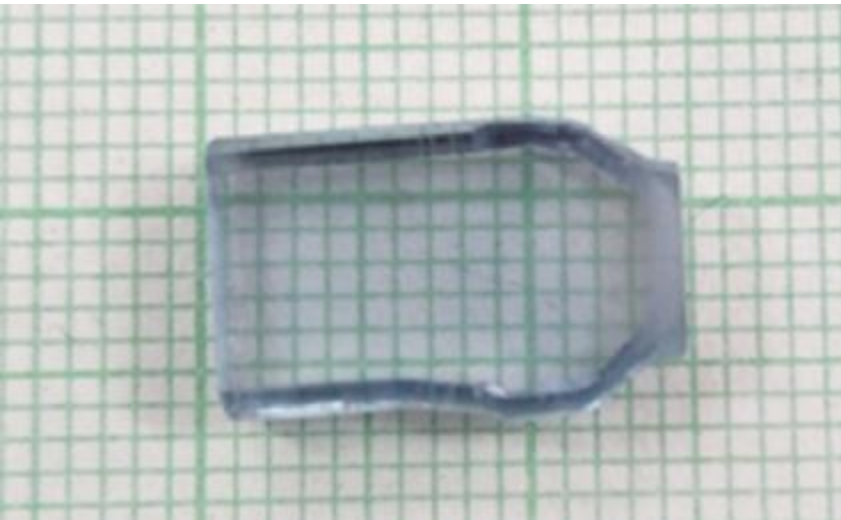
1г GAGG – 1 USD

1,5 тонны GAGG – 1,5 млн USD

1 MPPC – 20 USD (для > 10 тыс.
штук)

2 – 2,5 м2 SiPMs – 0,800-1 млн
USD

β -Ga₂O₃ новый быстрый эффективный сцинтиллятор



$\tau < 0,4$ нс (96%)

LY – 8000-10000 фотонов/МэВ

λ_{\max} - ~380 нм

$n \sim 1,91$

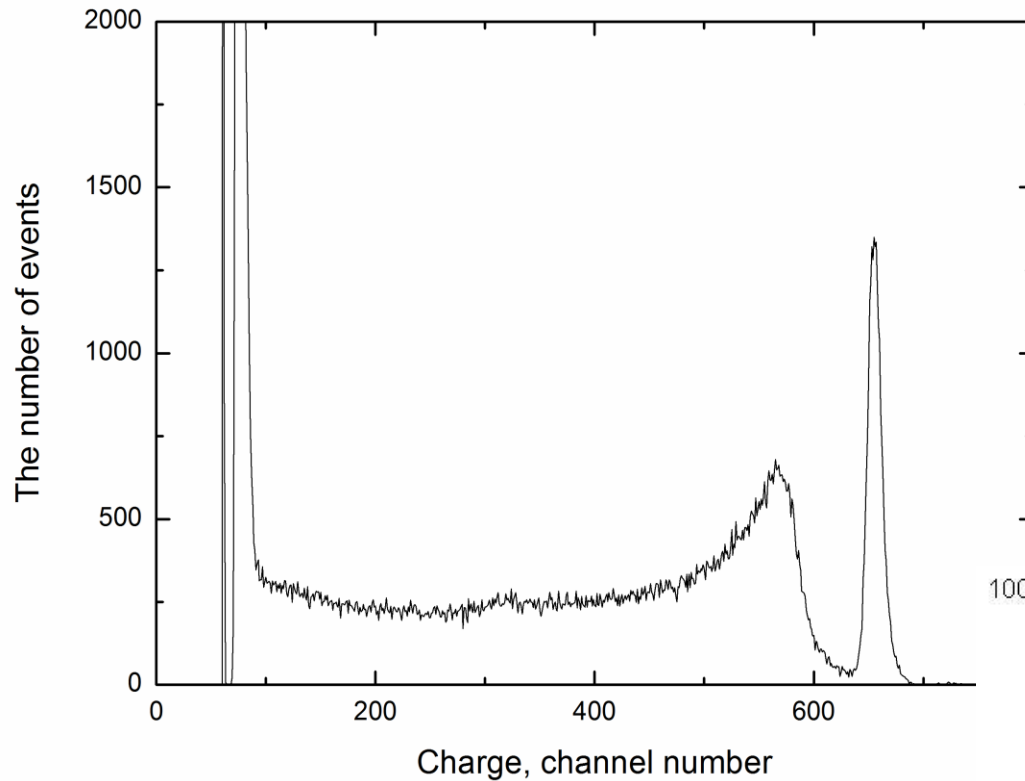
Другие возможности галлий содержащих сцинтилляторов:

GdLuAGG - 60000 γ /МэВ; $\tau_1 \sim 24$ нс (60%); $\lambda_{\max} \sim 508$ нм; $n \sim 1,8$

GdYAGG - 50000 γ /МэВ; $\tau_1 \sim 36$ нс (80%); $\lambda_{\max} \sim 510$ нм; $n \sim 1,8$

InGaN - ?????!!!!!! $\lambda_{\max} < 400$ нм ???; Fast
(Одновременно In и Ga нейтринный детектор)

GaN - ?????!!!!!! $\lambda_{\max} \sim 350$ нм ???; Fast

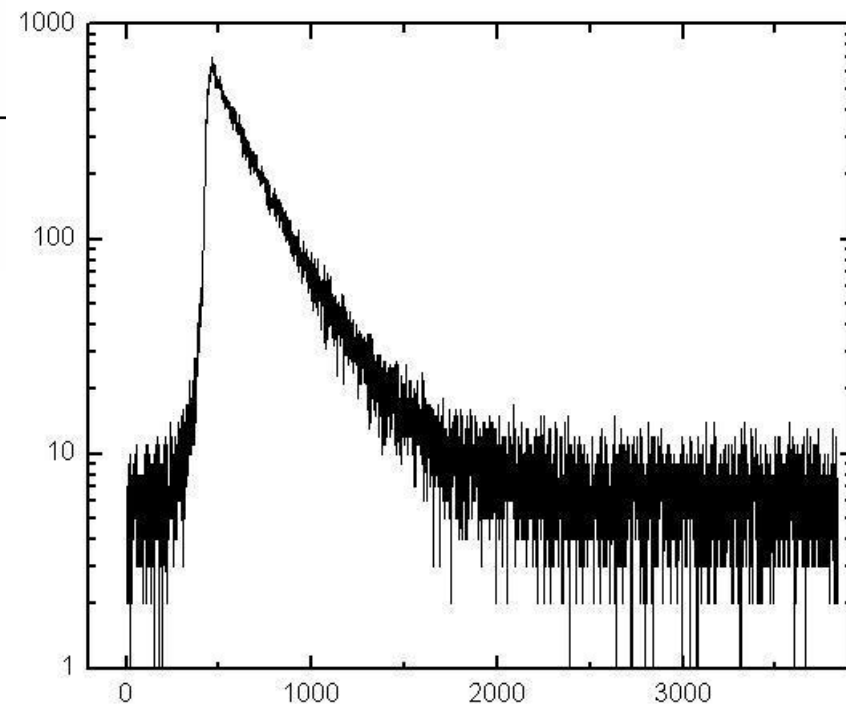


R=2,4% (FWHM)

LY – 64000 фотонов/МэВ

τ - 16 нс

Гигроскопичен!



Сцинтилляторы с высоким световыходом

SrI₂:Eu

LY ~ 115000 γ/МэВ

τ ~ 1,5-4 μs (одна экспонента)

λ_{max} ~ 440 нм

Гигроскопичен!

Детектор на 127I

Крио-сцинтилляторы

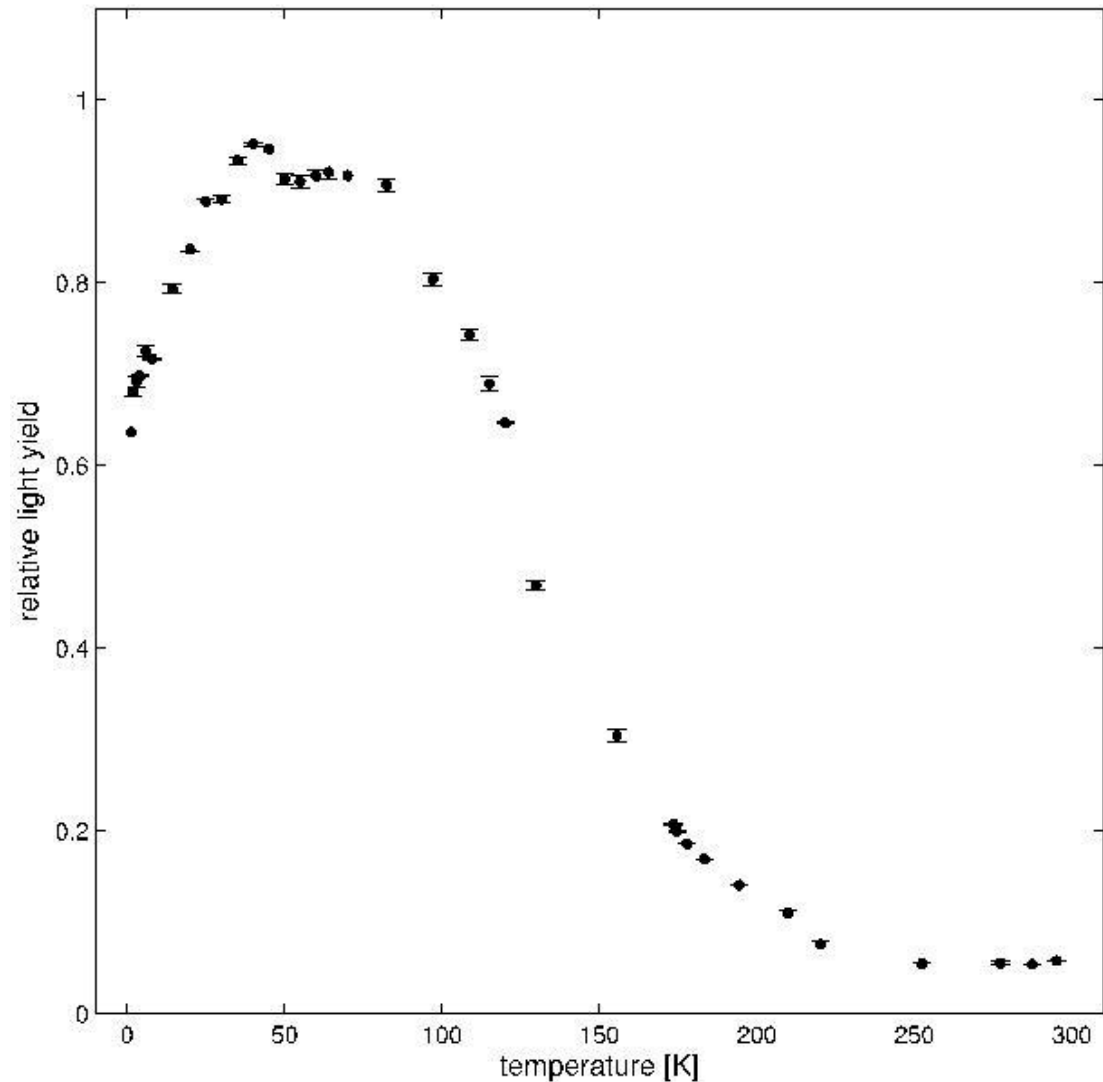
NaI(pure) & CsI(pure)

LY \sim 70000-80000 γ /МэВ

$\tau \sim$ 100 нс (NaI(pure))

$\tau \sim$ 1000 нс (CsI(pure))

Ch. Sailer, B.K. Lubsandorzhev EPJC 2012



Кремниевые фотоумножители:

SensL, Hamamatsu, КЕТЕК, NDL, FBK,

6x6 mm², матрицы,

PDE, DC, Xtalk, линейность, Ubd,

Возрождение производства в России:

СРТА, Пульсар, Микрон,

Отечественное производство
фотоумножители (вакуумные и кремниевые),
Сцинтилляторов (жидких и твердотельных),
сцинтилляционных добавок (PPO, NOLS, BPO, b-PBD, POPOP, β -
MSB,)
Оптоволокна (транспортные и спектросмещающие)

Инфраструктура

Многозадачность!?

GAGG:Ce - $Gd_3Al_2Ga_3O_{12}$

^{160}Gd – кандидат на $0\nu\beta\beta$;

Abundance - $\sim 22\%$

$Q_{\beta\beta} = 1,7$ МэВ

$2\nu\beta\beta$ - сильно подавлен \rightarrow подавлен фон в ROI

Gd - семь изотопов (6 стабильных);

^{152}Gd (0,2%) - α -распад с $T \sim 1,1 \times 10^{14}$ лет

$E_{\alpha} \sim 2,1$ МэВ

Особенности ядра ^{160}Gd позволяют получить даже при существенно меньшем ограничении на $T_{1/2}$ более сильные пределы на эффективную массу нейтрино, чем в экспериментах с ^{76}Ge !???

A. Faessler

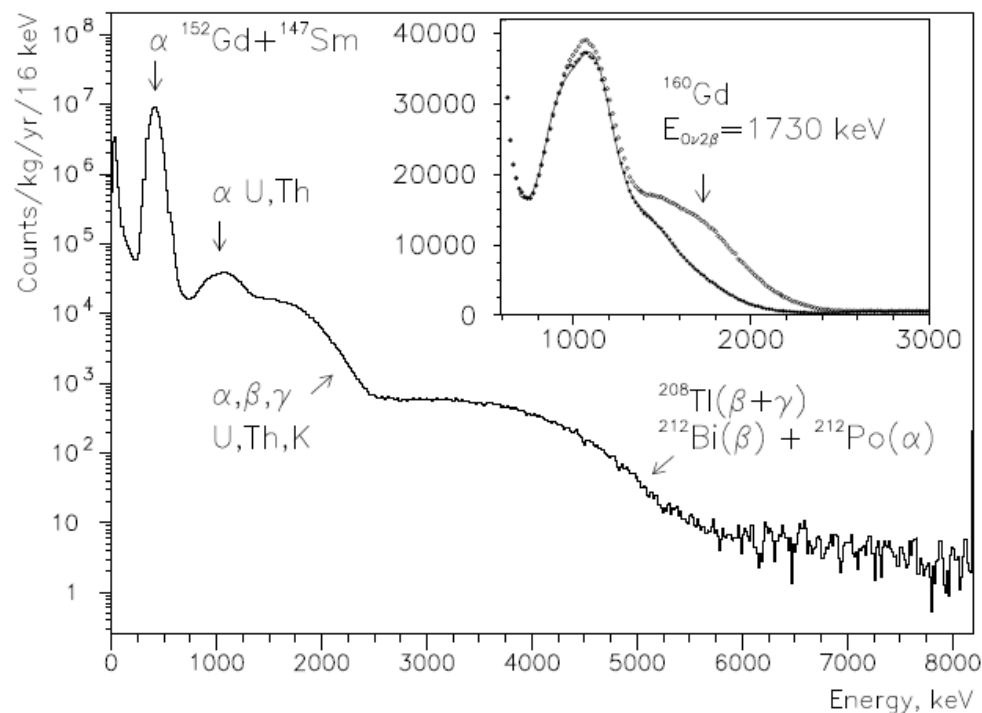
M. Kobayashi, Sh. Kobayashi. 1995.

F. Danevich et al. 2001

$T_{1/2} > 1.3 \times 10^{21}$ y (95% CL)

638 г GSO ($\text{Gd}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}$) – nGd (325 г)

$2\nu\beta\beta$ не зарегистрирован.



GAGG –Gd₃Al₂Ga₃O₁₂:Ce

Gd - ~51%

1,5 тонны GAGG – 765 кг Gd

160Gd – 98%? – 765 кг 160Gd

На 2 порядка подавит фон от 152Gd

Подземное производство сверхчистых сцинтилляторов

Производство шихты

Рост кристаллов (ростовые установки ~5-6 млн. р. (пром))

Производство керамики

Впервые в мире???

(производство CaWO_4 для CRESST на небольшой глубине 20-30 м .в.э.)

Многозадачность!?

Перегнать не догоняя!