

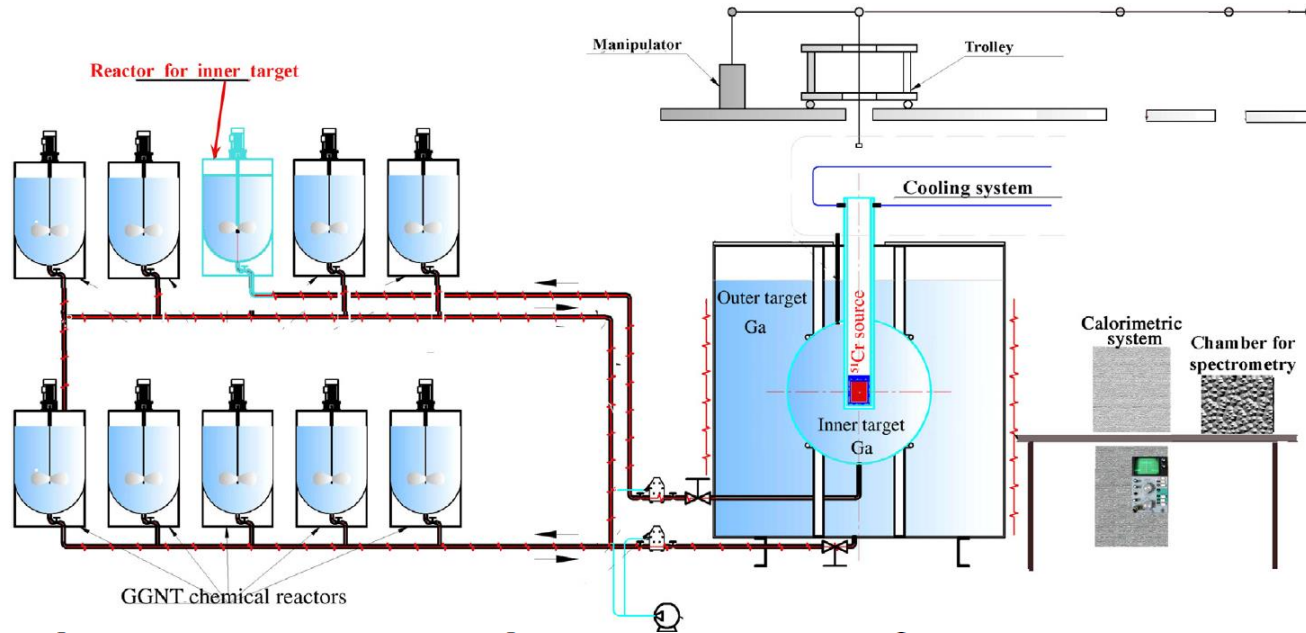
Нейтринная физика и галлий содержащие сцинтилляционные детекторы

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

Институт ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН)

ЯДРО 2025

Галлиевая аномалия



Measurement	Activity (10^{15} Bq)	Activity (MCI)	Measured/Expected
SAGE Cr	19.11 ± 0.22	0.5166 ± 0.0060 [51]	0.95 ± 0.12 [51,52]
SAGE Ar	15.1 ± 0.7	0.409 ± 0.002 [52]	$0.79^{+0.09}_{-0.10}$ [52]
GALLEX Cr-1	$63.4^{+1.1}_{-1.6}$ [53]	$1.714^{+0.03}_{-0.043}$	0.953 ± 0.11 [54]
GALLEX Cr-2	$69.1^{+3.3}_{-2.1}$ [53]	$1.868^{+0.09}_{-0.057}$	$0.812^{+0.10}_{-0.11}$ [54]
BEST-inner	116.23 ± 0.03	3.1414 ± 0.008 [1]	0.79 ± 0.05 [1]
BEST-outer	116.23 ± 0.03	3.1414 ± 0.008 [1]	0.77 ± 0.05 [1]

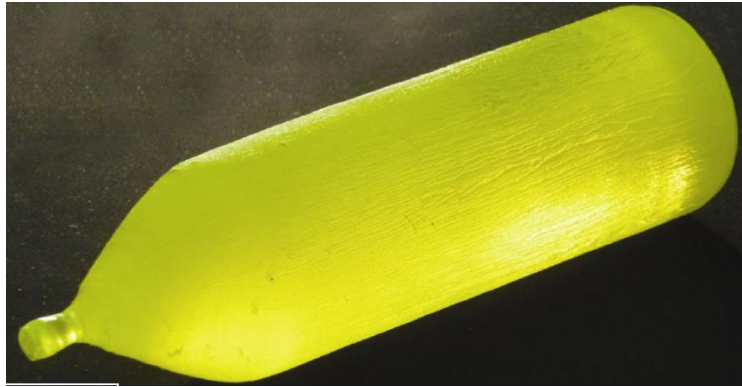
Isotope	$\tau_{1/2}$ (d)	E_ν (keV)	f_{E_ν} (%)
^{37}Ar	35.0	813.8	1.11 ± 0.01
		813.5	8.66 ± 0.01
		810.7	90.23 ± 0.01
^{51}Cr	27.7	752.4	1.40 ± 0.01
		751.8	8.42 ± 0.01
		746.5	80.25 ± 0.01
		432.3	0.15 ± 0.01
		431.7	0.92 ± 0.01
		426.4	8.86 ± 0.01

$$\sigma(^{51}\text{Cr}) = \sigma_0(^{51}\text{Cr}) \left[1 + 0.67 \frac{B_1(\text{GT})}{B_0(\text{GT})} + 0.22 \frac{B_2(\text{GT})}{B_0(\text{GT})} \right]$$

$$P_{ee}(d) = 1 - \sin^2 2\theta \sin^2 \left(1.27 \frac{\Delta m^2 [\text{eV}^2] d [\text{m}]}{E_\nu [\text{MeV}]} \right)$$

$\sin^2 2\theta = 0.32, \Delta m^2 = 1.25 \text{ eV}^2$

Сцинтиллятор GAGG(Ce) : on-line эксперимент



GAGG $Gd_3Ga_3Al_2O_{12}:Ce$

гадолиний-алюминий-галлиевый гранат

$\lambda_{\text{max}} \sim 520-540 \text{ нм}$

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

$\rho \sim 6,63 \text{ г/см}^3$

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

$n \sim 1,9 (540 \text{ нм})$

Негигроскопичен

Кристалл, керамика

Доля Ga – 22% (Ga71 – 8,8%)

- Измерение активности источника Cr51 $\nu_e + e^- \rightarrow \nu_e + e^-$

- Измерение сечения захвата на Ga71 $\nu_e + {}^{71}\text{Ga} \rightarrow e^- + {}^{71}\text{Ge}$

- тестирование эффективности радиохимического детектирования

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

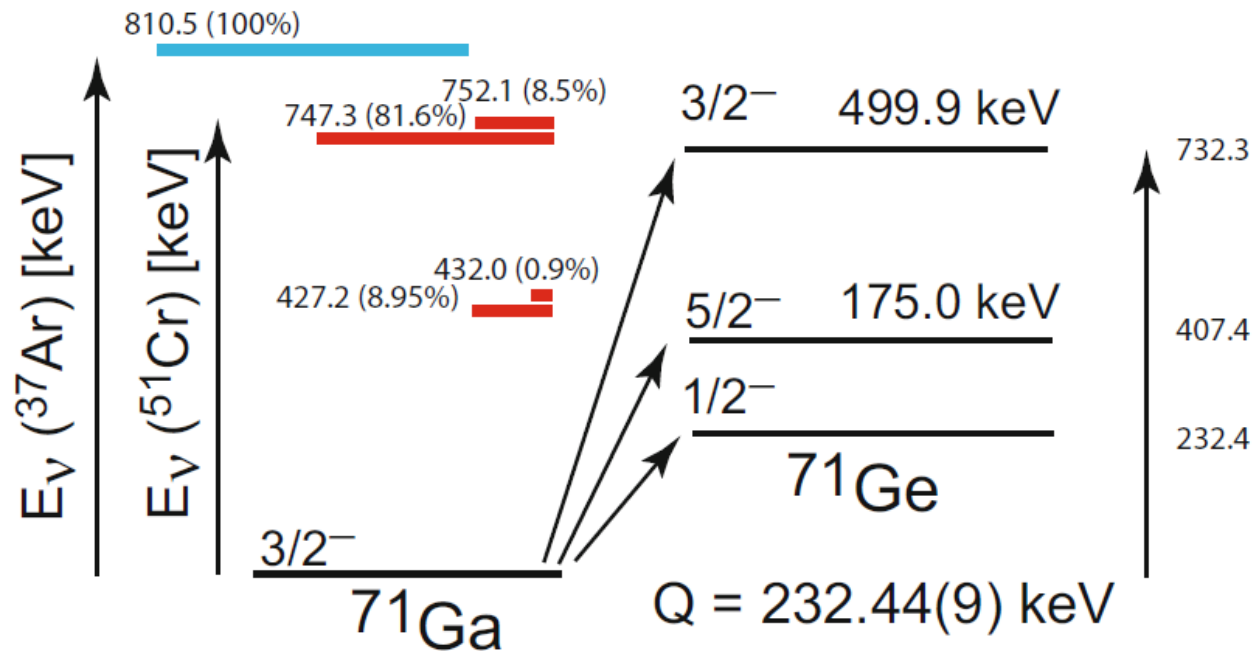
Анализ сигнатуры событий позволит подавить фон от рассеяния нейтрино

И получить отношение сигнал/шум 1:0,15

Testing the gallium anomaly. Patrick Huber

Phys.Rev.D 107 (2023) 9, 096011 DOI: 10.1103/PhysRevD.107.096011

Сцинтиллятор GAGG(Ce) : on-line эксперимент

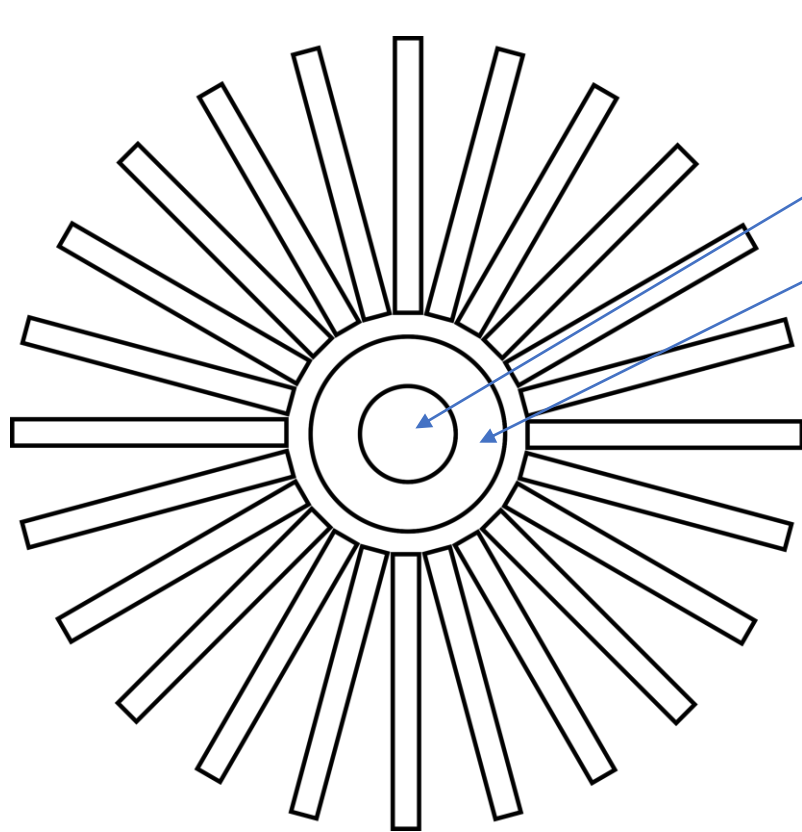


^{71}Ge E_x [keV]	$B(\text{GT})$ ($\times 10^{-2}$)	
g.s.	8.52{40}	80 %
175	0.34(26)	3.5 %
500	1.76(14)	16.5 %

Детектирование захвата нейтрино:

- вылет электрона с энергией $E_c = E_\nu - Q_c \sim 510 \text{ keV}$
- детектирование $E_s = 10.3 \text{ keV}$ Ожэ-электронов от распада ^{71}Ge ($T_{1/2} = 11.4 \text{ d.}$)

Схема эксперимента



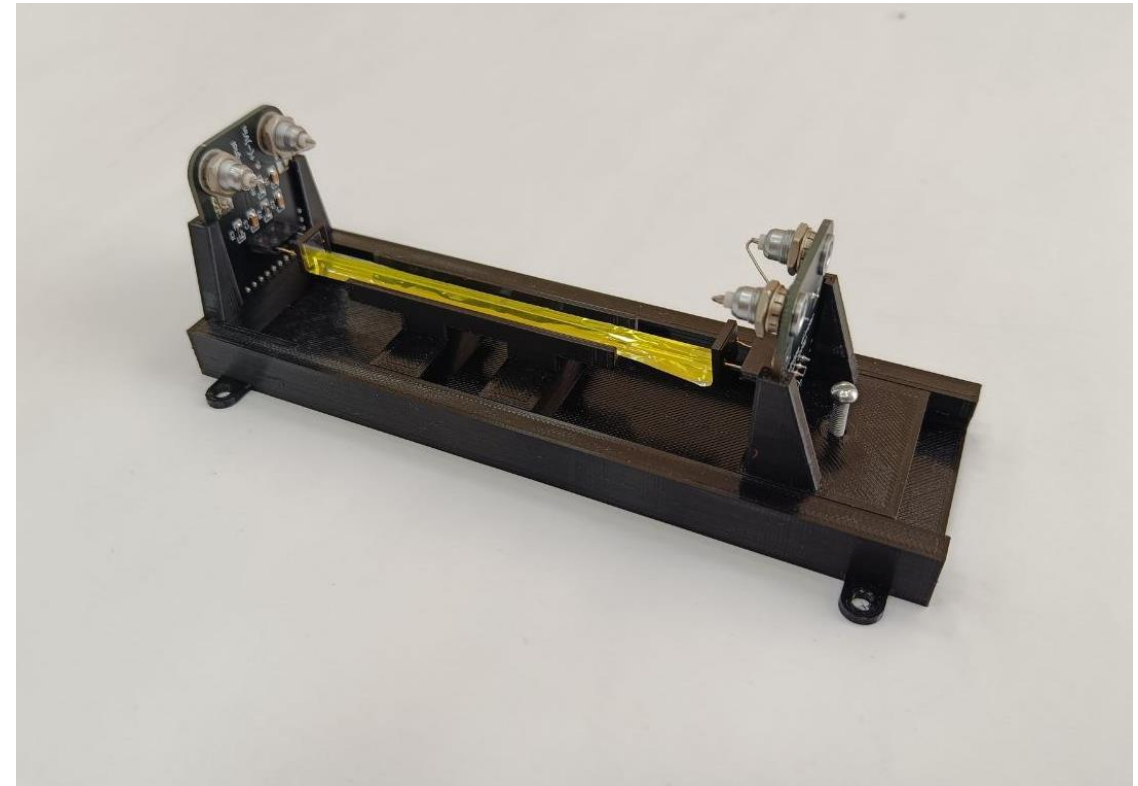
Источник

Радиационная защита

Ячейка детектора

GAGG – 3x3x100 мм³; 5x5x100 мм³

SiPM – MPPC S13360-6075CS



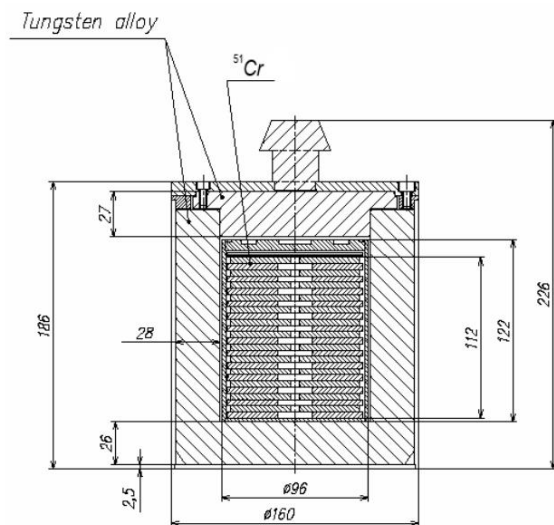
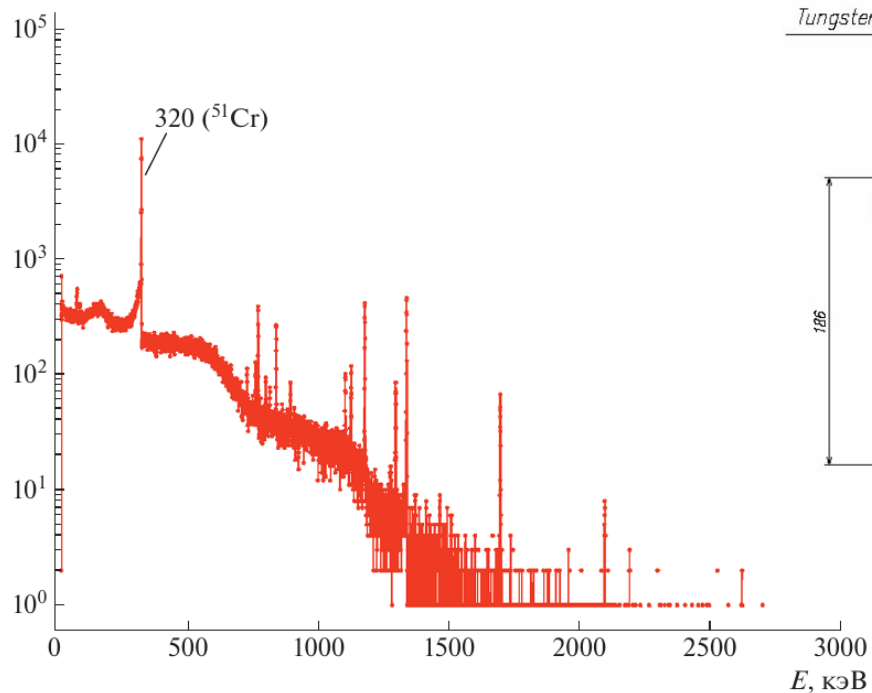
При $R(\text{ист.})=15$ см $M \approx 1.5$ т GaGG

Размер кристалла 6x6x100 мм

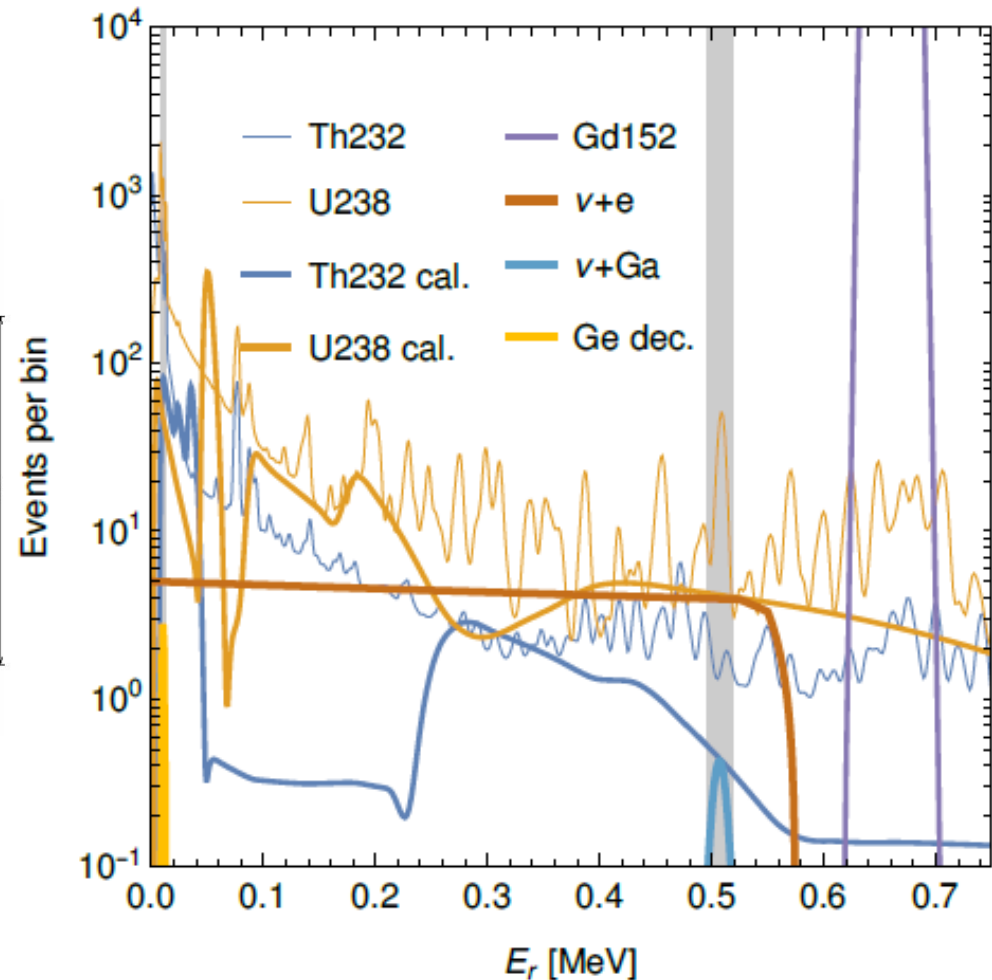
Число ячеек: 62500

Потенциальные источники:

- ^{51}Cr (746.5 (80.25%), 751.8 (8.4%))
- ^{37}Ar (810.7 (90.2%), 813.5 (8.66%))
- ^{58}Co (1497 keV (98.8%), 633 keV (1.2%))



ИЗМЕРЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ПРИМЕСЕЙ В
ИСТОЧНИКЕ ^{51}Cr ПО ФОТОННОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ В
ЭКСПЕРИМЕНТЕ BEST /В.Н. Гаврин, В.В. Горбачёв, Т.В.
Ибраимова, А.А. Шихин // Ядерная физика, 2023, Т. 86, № 3,
стр. 396-406



Testing the gallium anomaly. Patrick
Huber *Phys.Rev.D* 107 (2023) 9, 096011
DOI: 10.1103/PhysRevD.107.096011

Производители GAGG(Ce):

Furukawa (Япония)

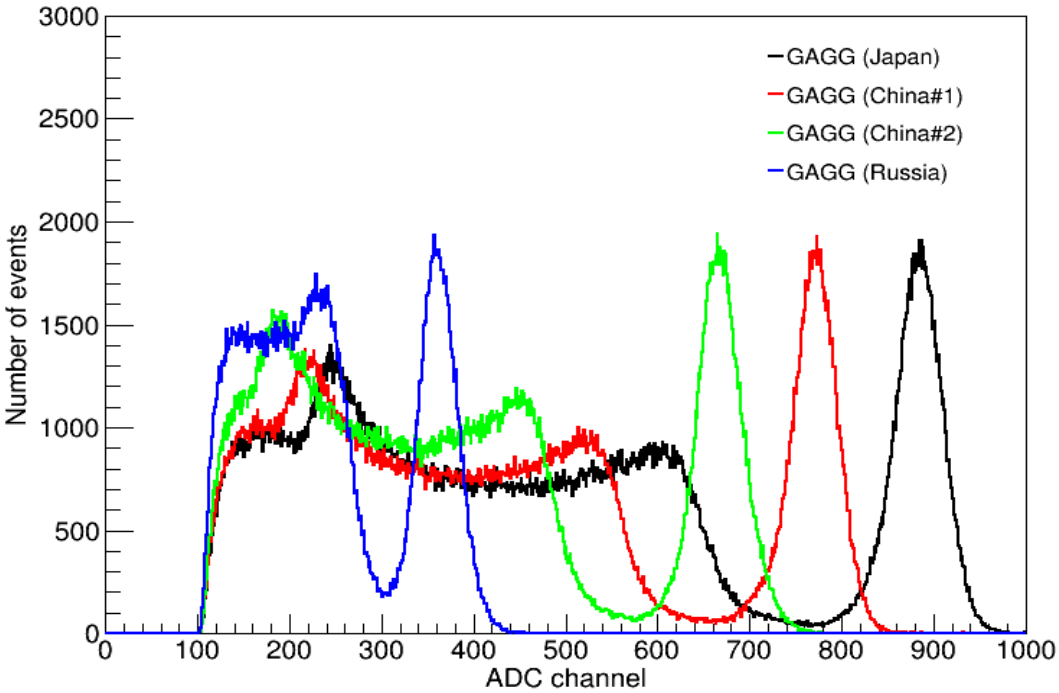
Еріс (Китай)

Hangzhou Shalom (Китай)

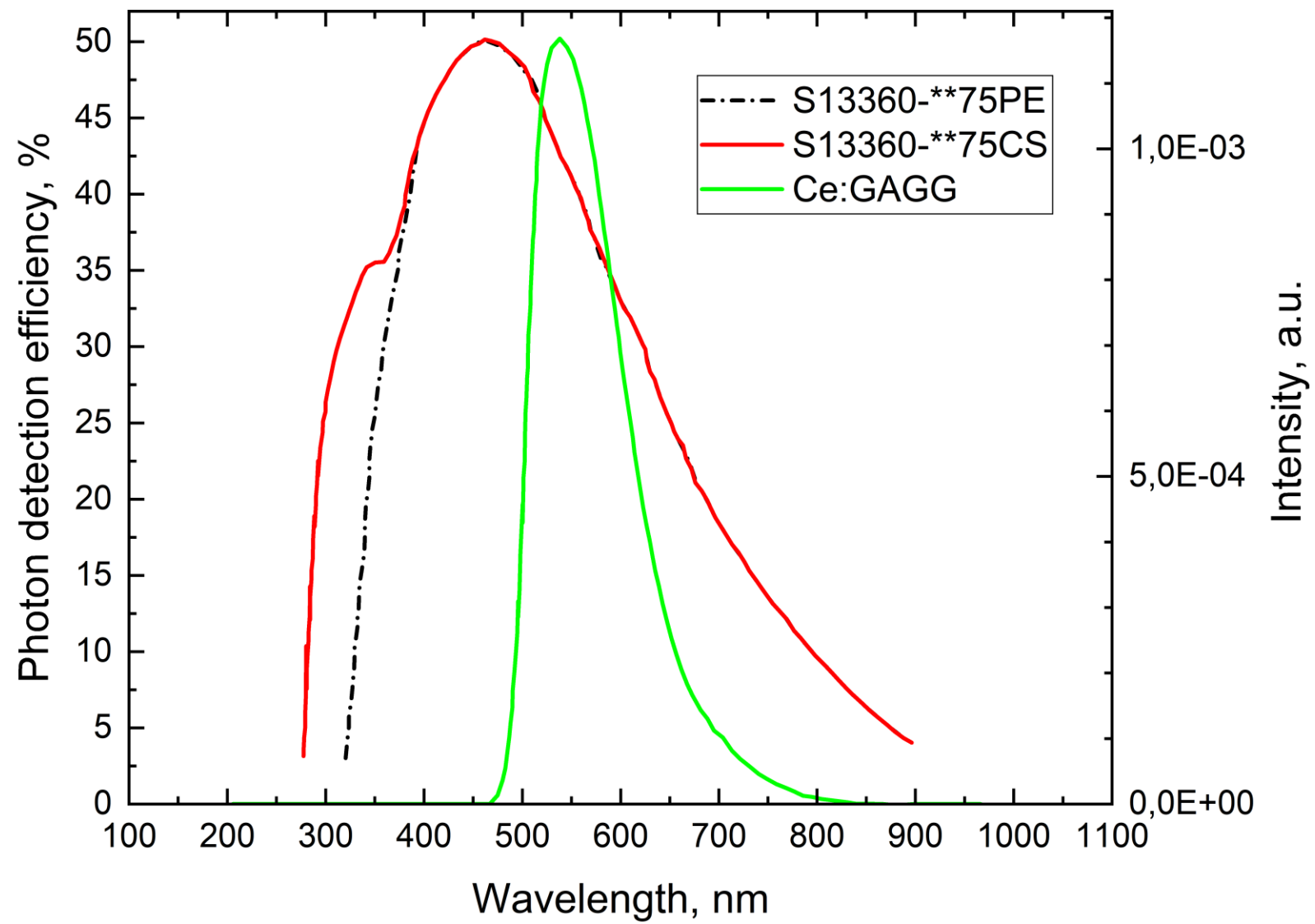
ІМ (Китай)

Фомос (Россия)

ИНХ СО РАН (Россия)



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



Сцинтиллятор GAGG(Ce) : поиск процесса $0\nu\beta\beta$ в ^{160}Gd

First Study of the PIKACHU Project: Development
and Evaluation of High-Purity $\text{Gd}_3\text{Ga}_3\text{Al}_2\text{O}_{12}:\text{Ce}$
Crystals for ^{160}Gd Double Beta Decay Search

Takumi Omori¹, Takashi Iida^{2,*}, Azusa Gando³, Keishi Hosokawa⁴, Kei
Kamada^{5,6}, Keita Mizukoshi⁷, Yasuhiro Shoji⁶, Masao Yoshino^{5,6}, Ken-Ichi
Fushimi⁸, Hisanori Suzuki¹, and Kotaro Takahashi¹

Quest for double beta decay
of ^{160}Gd and Ce isotopes

F.A. Danevich, V.V. Kobychiev, O.A. Ponkratenko, V.I. Tretyak,
Yu.G. Zdesenko *

Institute for Nuclear Research, Prospekt Nauki 47, MSP 03680 Kiev, Ukraine

Received 23 November 2000; revised 8 March 2001; accepted 26 March 2001

$\text{Gd}_3\text{Ga}_3\text{Al}_2\text{O}_{12}:\text{Ce}$

Изотопное содержание ^{160}Gd : 21.86 %
В сцинтилляторе GAGG(Ce) содержание
 ^{160}Gd : ~11 %

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

1,5 тонны GAGG – 765 кг Gd

^{160}Gd – 98%? – 765 кг ^{160}Gd

На 2 порядка подавит фон от ^{152}Gd

638 г GSO ($\text{Gd}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}$) – nGd (325 г) $T_{1/2}^{0\nu} \geq 2.3 \times 10^{21}$ yr

[← Back to section](#)

ROSATOM SCIENTISTS HAVE MASTERED THE TECHNOLOGY OF MANUFACTURING TERBIUM-161 MEDICAL ISOTOPE

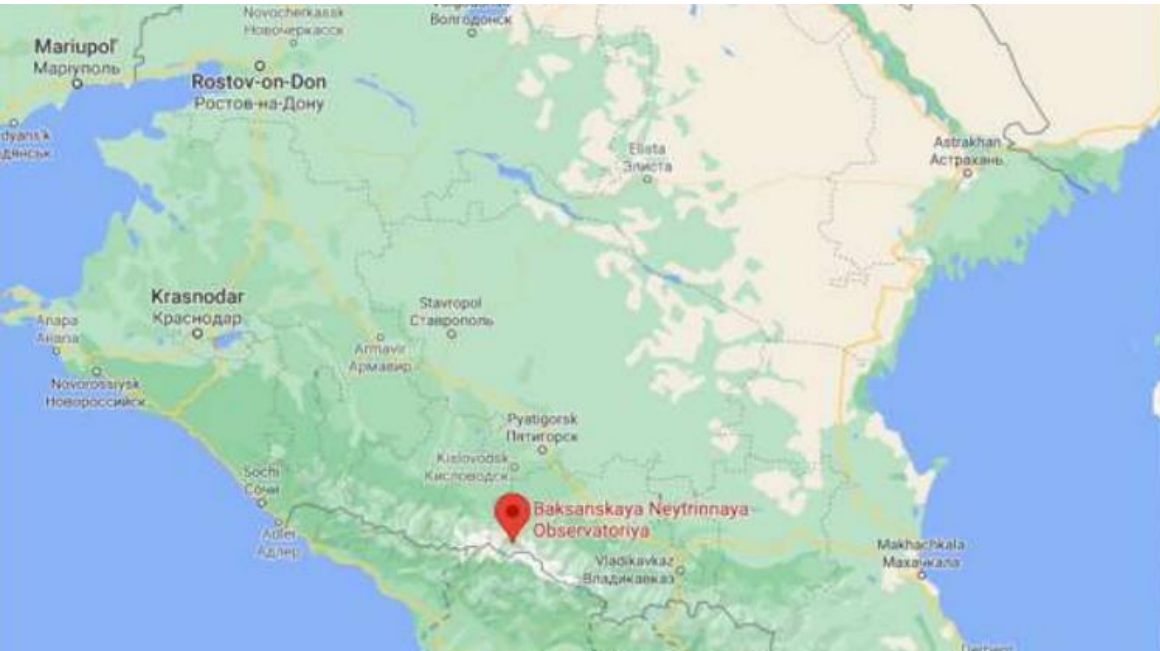
12/24/2024



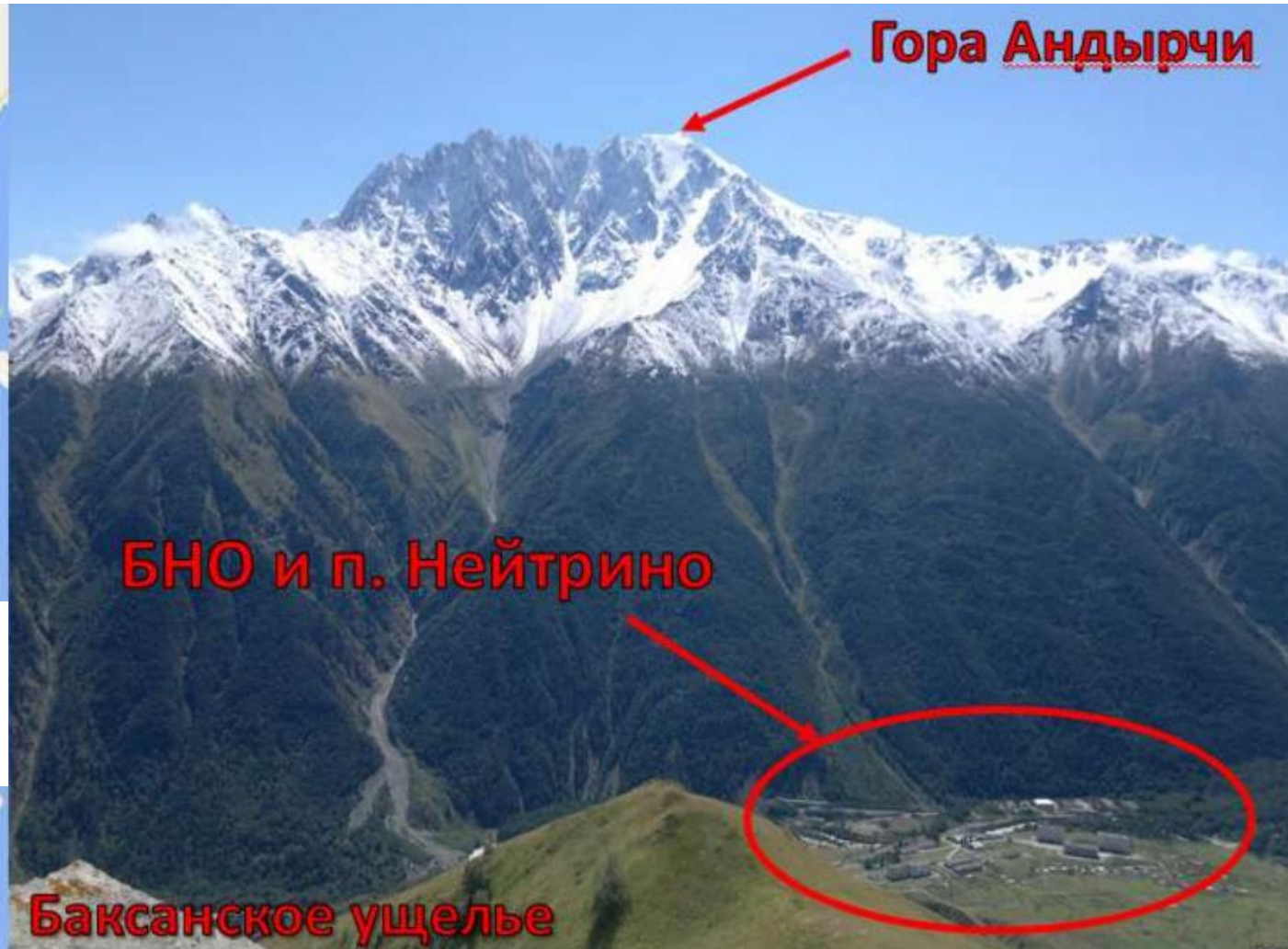
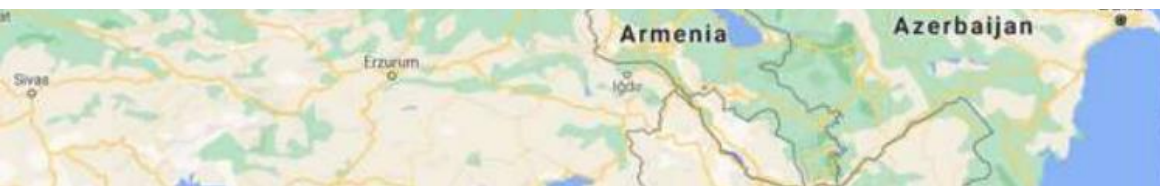
научные учреждения.

Сырьем для производства тербия-161 является изотоп гадолиний-160, который выпускает другое предприятие «Росатома» — комбинат «Электрохимприбор». Наличие сырьевой базы должна позволить госкорпорации создать надежную и эффективную производственную цепочку по выпуску продукта.

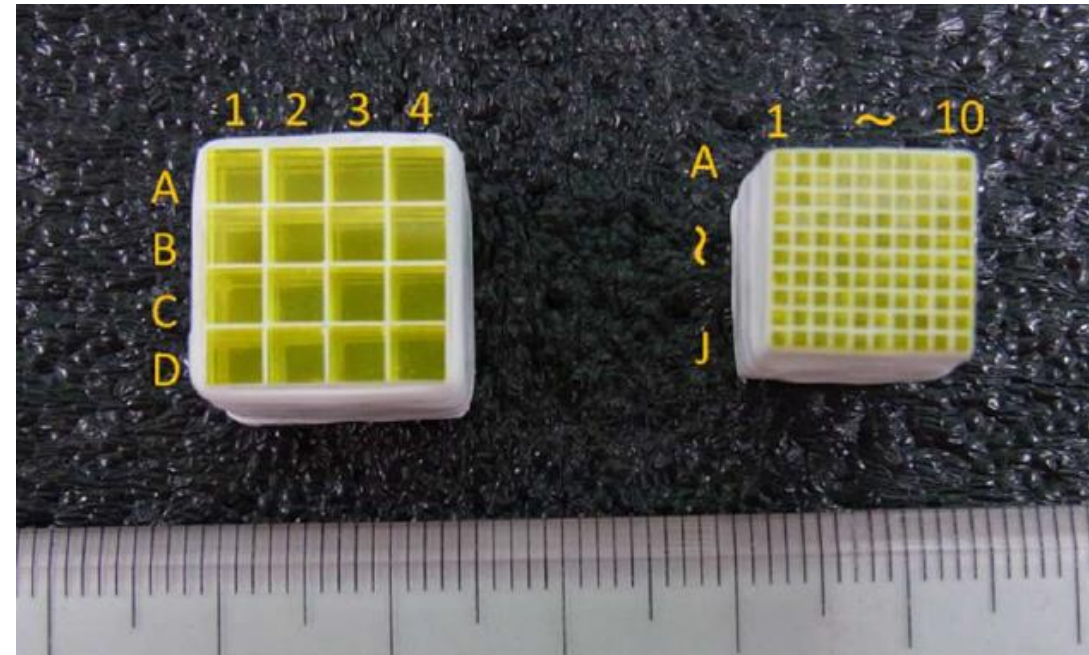
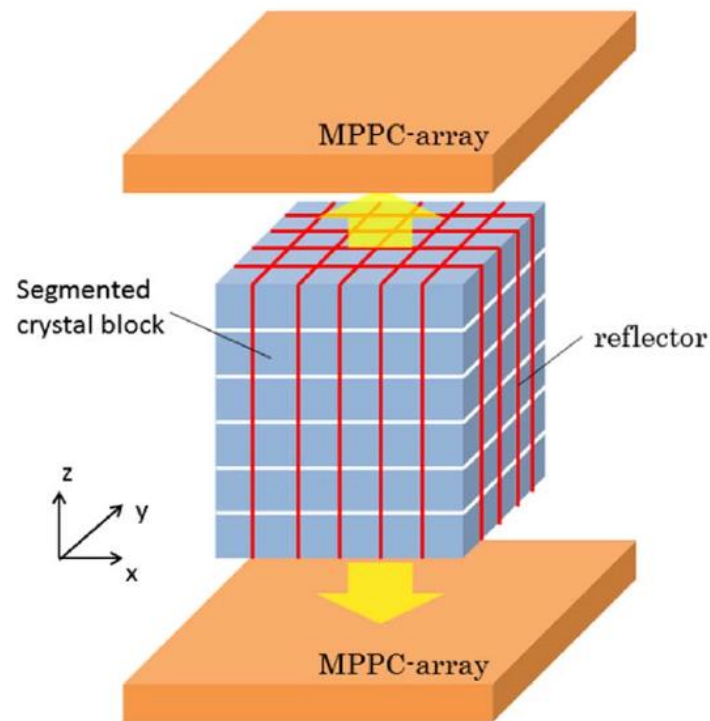
Подземное производство сверхчистых сцинтилляторов



Производство шихты



Создание детекторов для позитронно-эмиссионной томографии



S. Yamamoto, J. Kataoka, T. Oshima, Y. Ogata, T. Watabe, H. Ikeda, Y. Kanai, J. Hatazawa, Development of a high resolution gamma camera system using finely grooved GAGG scintillator, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 821 (2016) 28–33.

A. Kishimoto, J. Kataoka, T. Kato, T. Miura, T. Nakamori, K. Kamada, S. Nakamura, K. Sato, Y. Ishikawa, K. Yamamura, N. Kawabata, S. Yamamoto, Development of a Dual-Sided Readout DOI- PET Module Using Large-Area Monolithic MPPC-Arrays, IEEE Transactions on Nuclear Science 60 (2013) 38–43.

Выводы

- Результаты эксперимента BEST подтверждают существование галлиевой аномалии
- Эксперимент с искусственным источником нейтрино и детектором на основе GAGG(Ce) позволит доказать или опровергнуть существование аномалии на уровне достоверности 5σ (при массе детектора 1.5 т. и активности источника аналогичной BEST)
- Мультизадачность: поиск процесса $0\nu\beta\beta$ в ^{160}Gd с помощью сцинтиллятора GAGG(Ce)
 $\text{Gd}_3\text{Ga}_3\text{Al}_2\text{O}_{12}:\text{Ce}$
- Подземное производство сверхчистых сцинтилляторов

Спасибо за внимание!

Пессимистическая оценка

1 г GAGG – 3 USD

1,5 тонны GAGG – 4,5 млн USD

Оптимистическая оценка

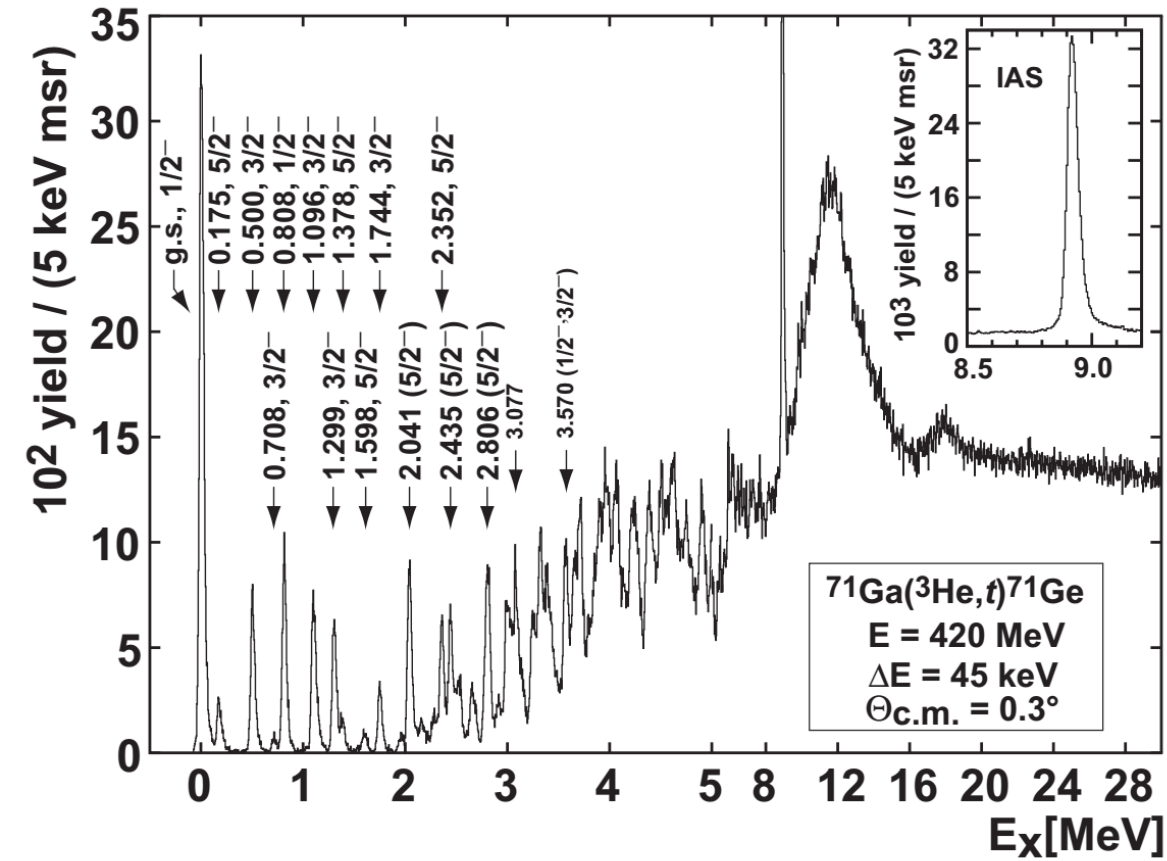
1г GAGG – 1 USD

1,5 тонны GAGG – 1,5 млн USD

1 MPPC – 20 USD (для > 10 тыс.
штук)

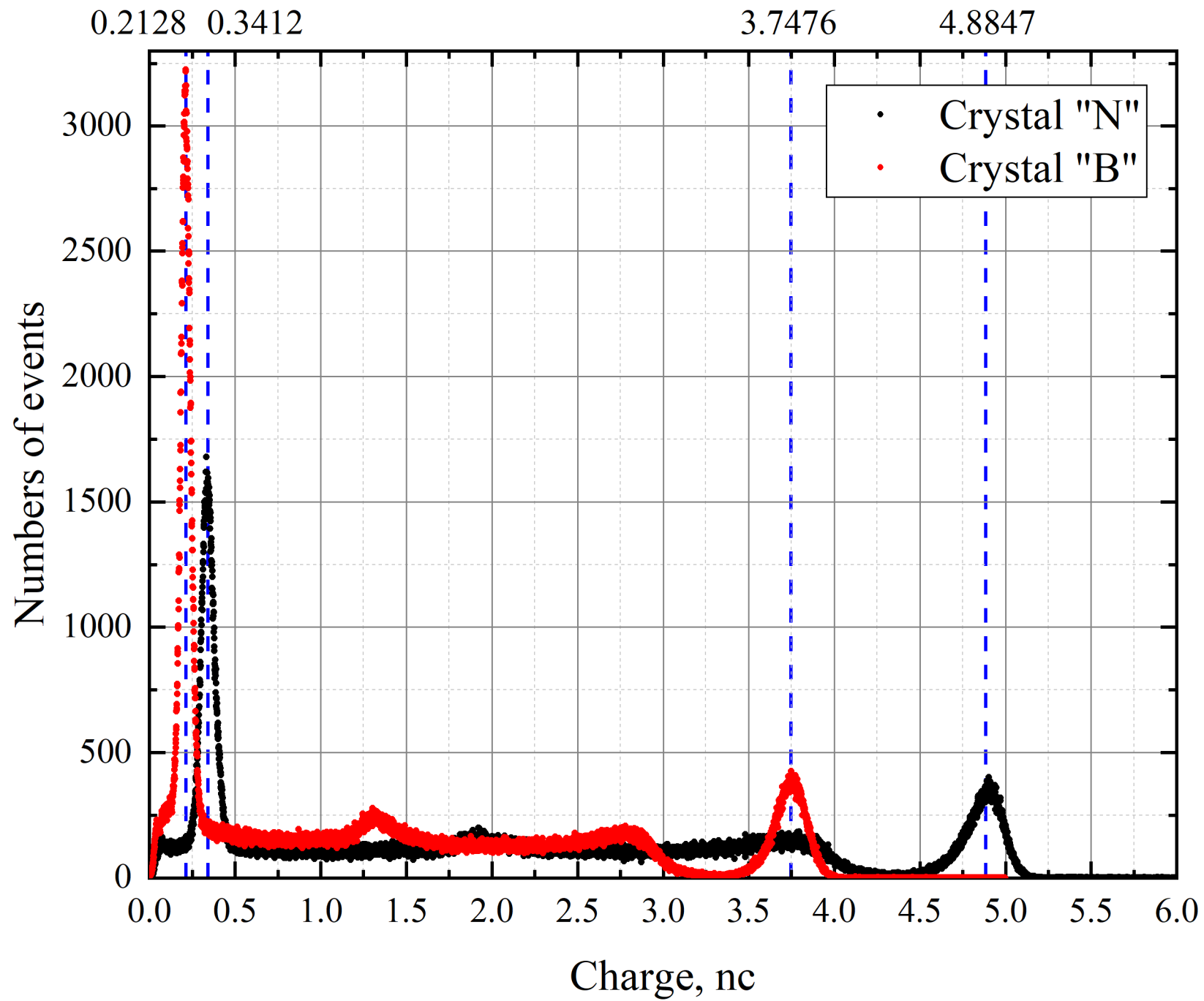
2 – 2,5 м2 SiPMs – 0,800-1 млн
USD

Charge-Exchange Reaction $^{71}\text{Ga}(^3\text{He},t)^{71}\text{Ge}$

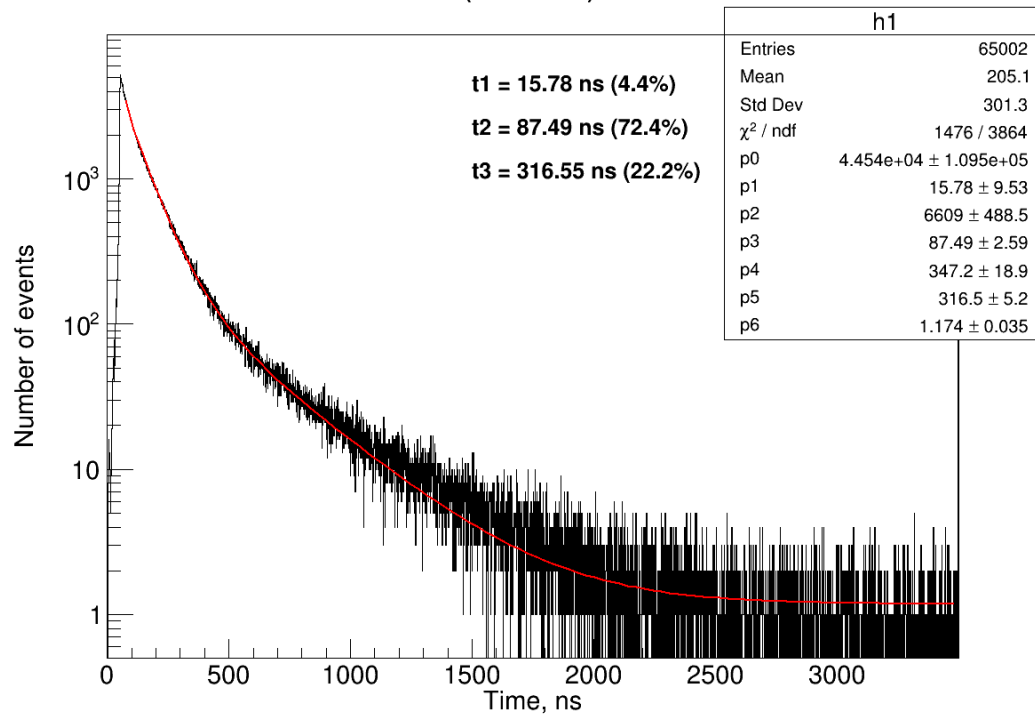


D. Frekers et al. Phys. Rev. C 91, 034608 (2015)

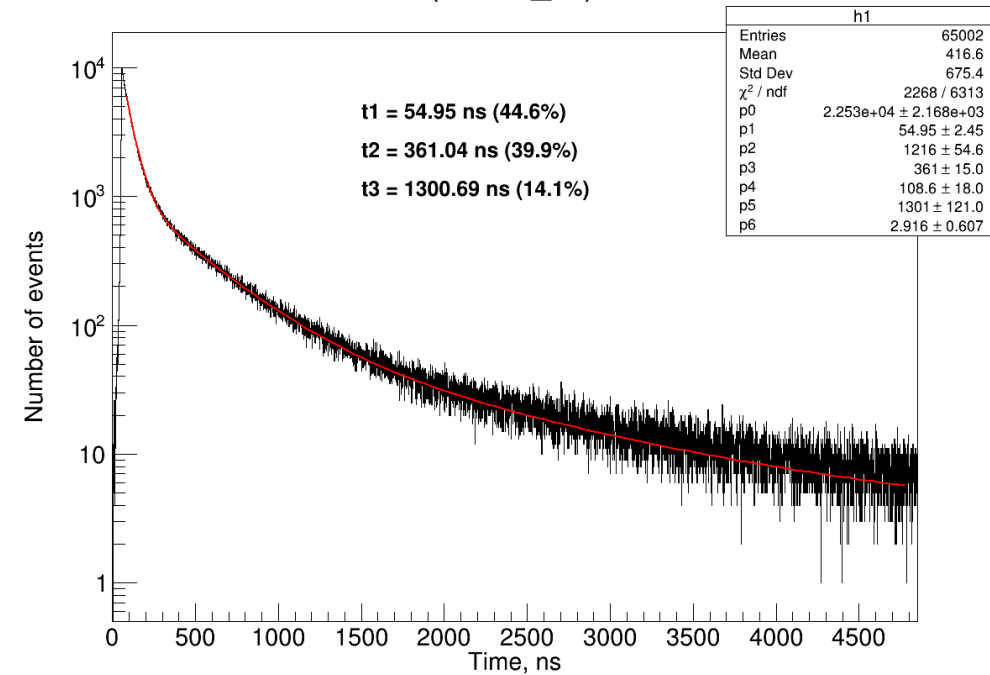
$$\sigma_{discr}(E_\nu) = \frac{1}{\pi} \sum_k G_F^2 \cos^2 \theta_C p_e E_e F(Z, E_e) [B(F)_k + \left(\frac{g_A}{g_V}\right)^2 B(GT)_k]$$



GAGG (Russia) Cs-137



GAGG (China_W) Cs-137



Testing the Gallium anomaly using Electron-Neutrino Scattering

Emilio Ciuffoli^{*a}, Jarah Evslin^{†a,b}, Ruixuan Gao^c, Haixing Lin^c, and Jian Tang^{‡c}

^aInstitute of Modern Physics, NanChangLu 509, Lanzhou 730000, China

^bUniversity of the Chinese Academy of Sciences, YuQuanLu 19A, Beijing 100049, China

^cSchool of Physics, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

April 30, 2025

Abstract

The Gallium anomaly is an unexplained deficit in the neutrinos observed during the calibration of GALLEX and SAGE using a ^{51}Cr radioactive source and recently confirmed by BEST. The possible explanations for this deficit include an overestimation of the neutrino absorption cross section in Ga, an incorrect measurement of the source activity or the existence of sterile neutrinos. However, as this deficit has only been observed in Ga detectors, it has not been possible to distinguish among various proposals. Therefore, we propose an experiment using the same radioactive source but with a different detection method, electron-neutrino scattering. We dis-