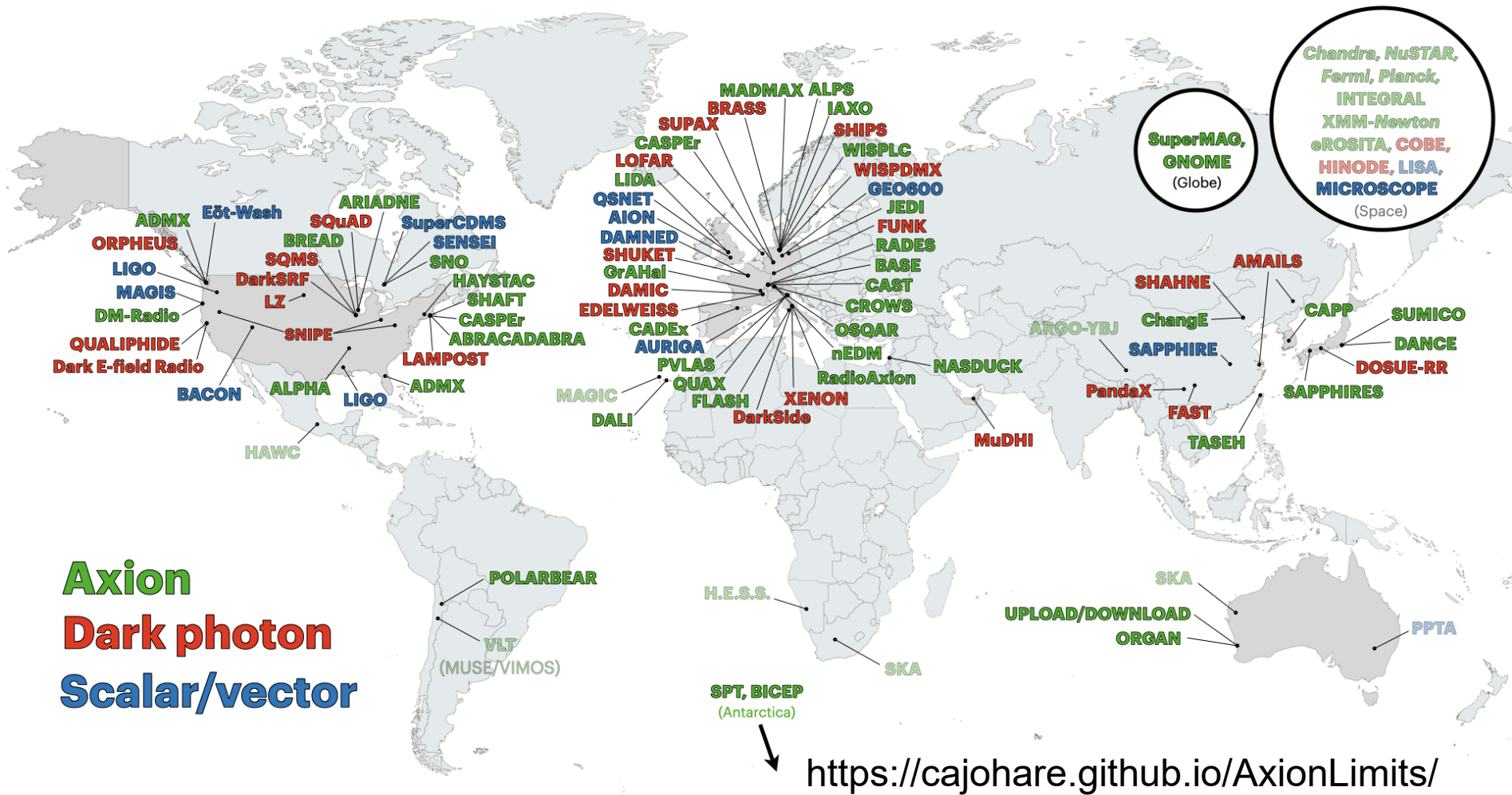


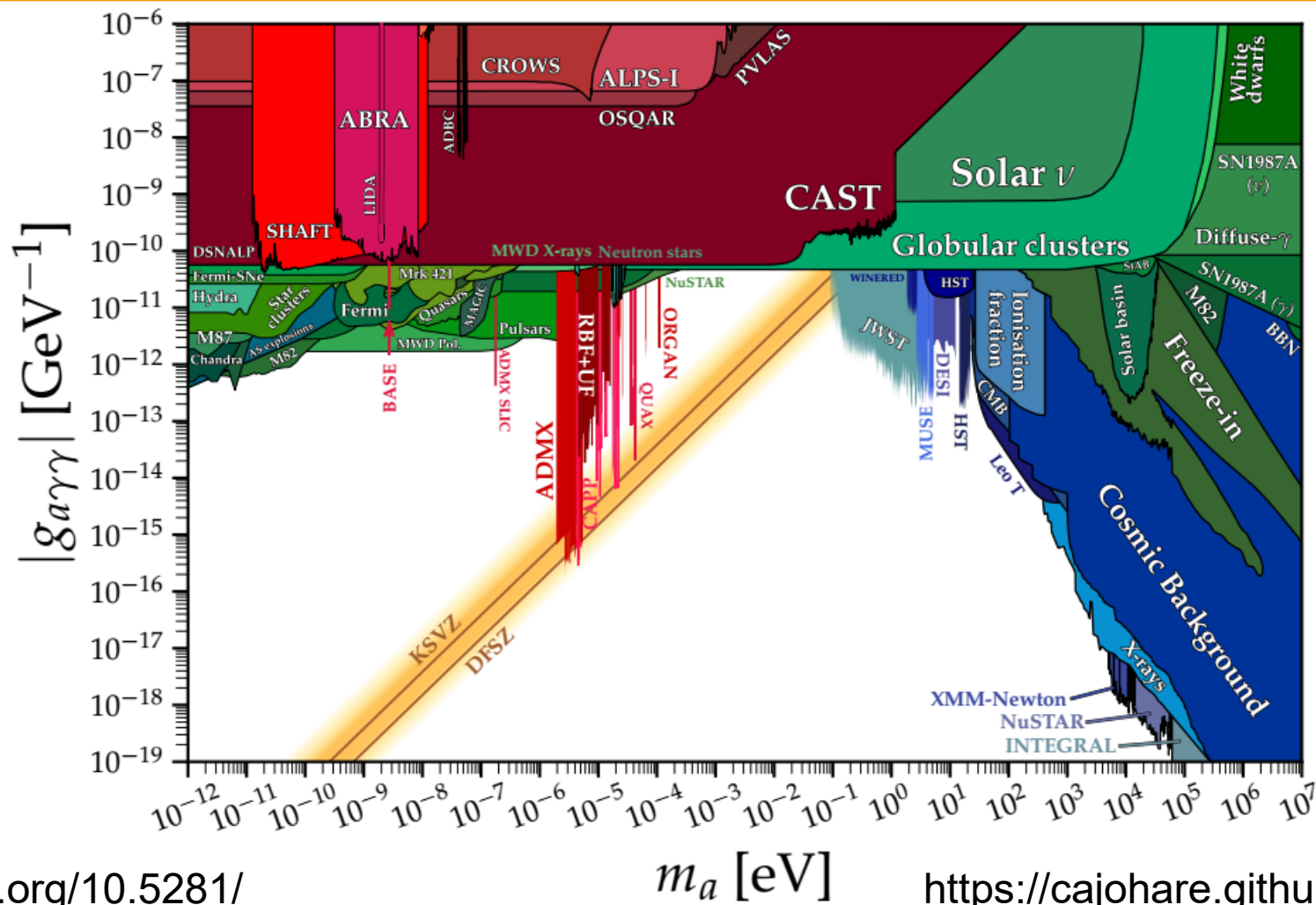
**Предложение  
эксперимента по поиску аксионов  
с помощью болометров из тулиевого гранта  
( $Tm_3Al_5O_{12}$ )**

**А.М. Гангапшев**

*ИЯИ РАН (БНО ИЯИ РАН)*

***Сессия-конференция «Физика фундаментальных взаимодействий».  
10 – 13 марта 2026г., г. Новосибирск, ИЯФ СО РАН***

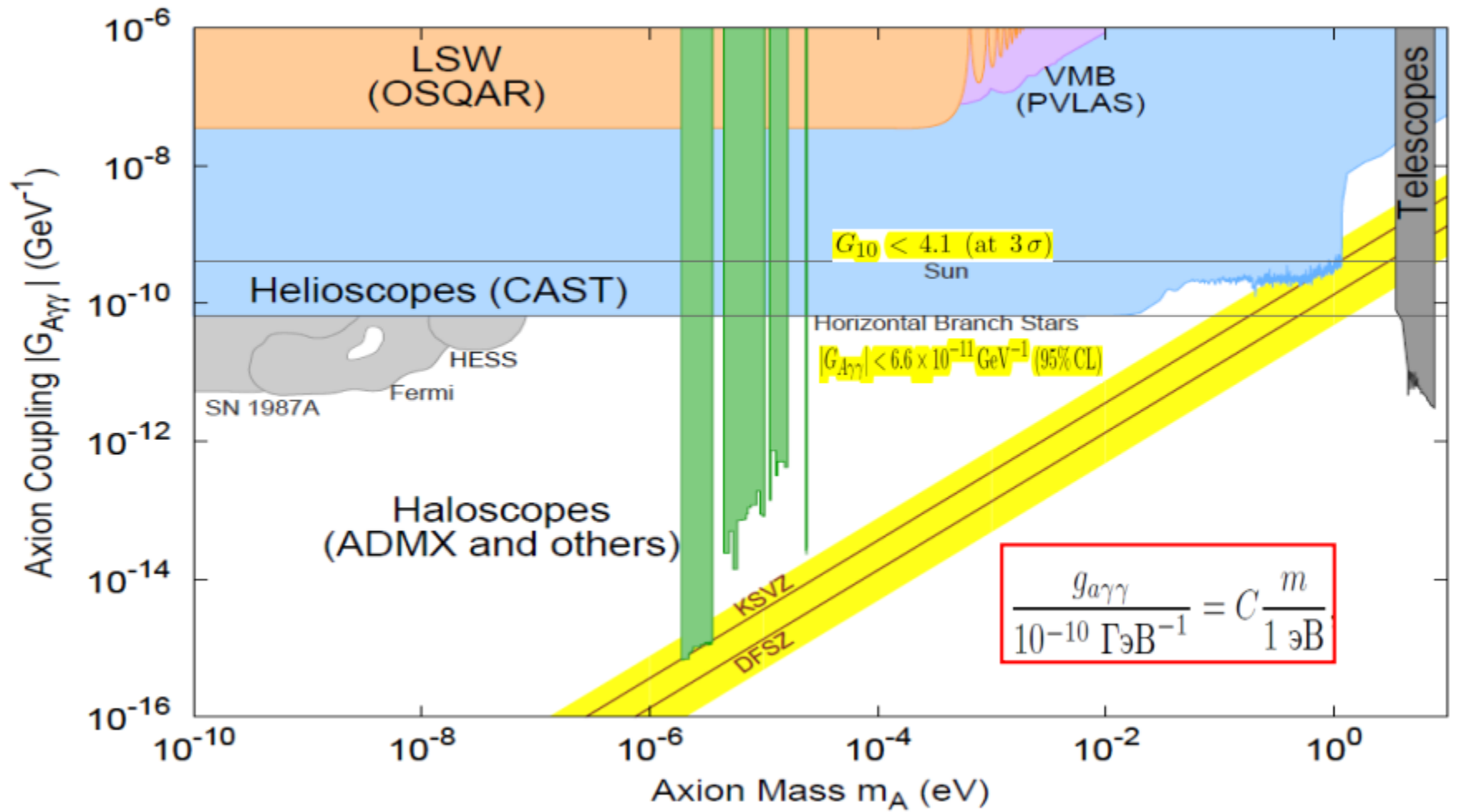




<https://doi.org/10.5281/zenodo.3932430>

$m_a$  [eV]

<https://cajohare.github.io/AxionLimits/>

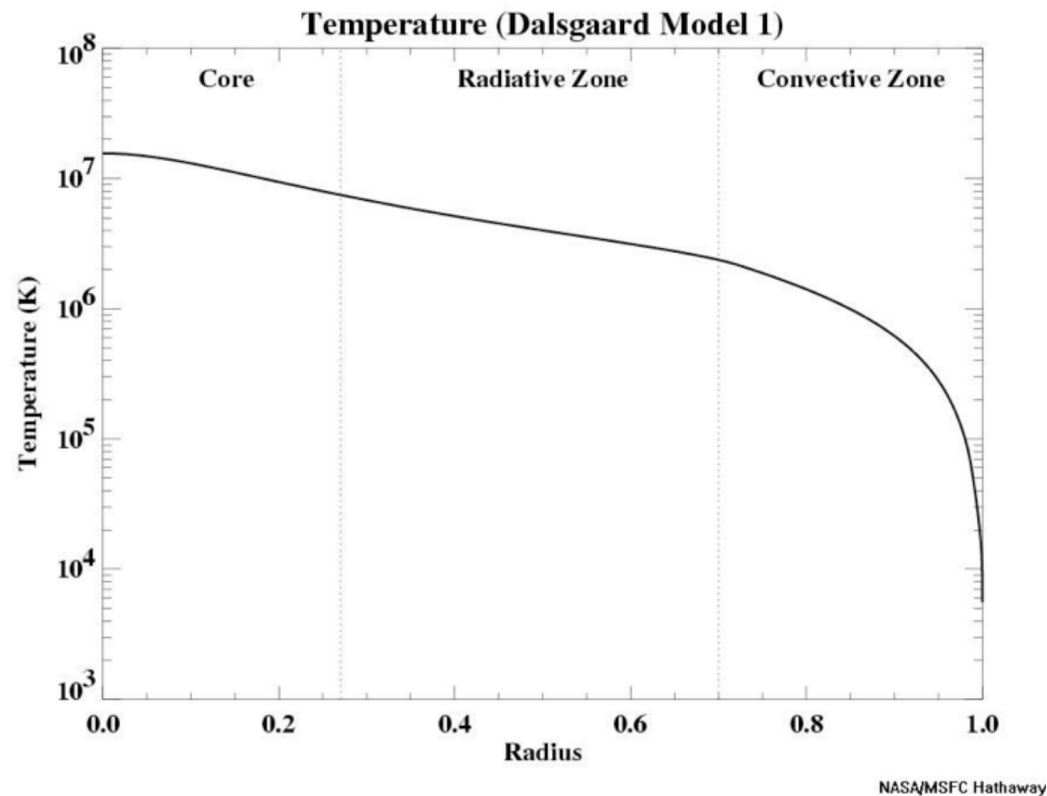
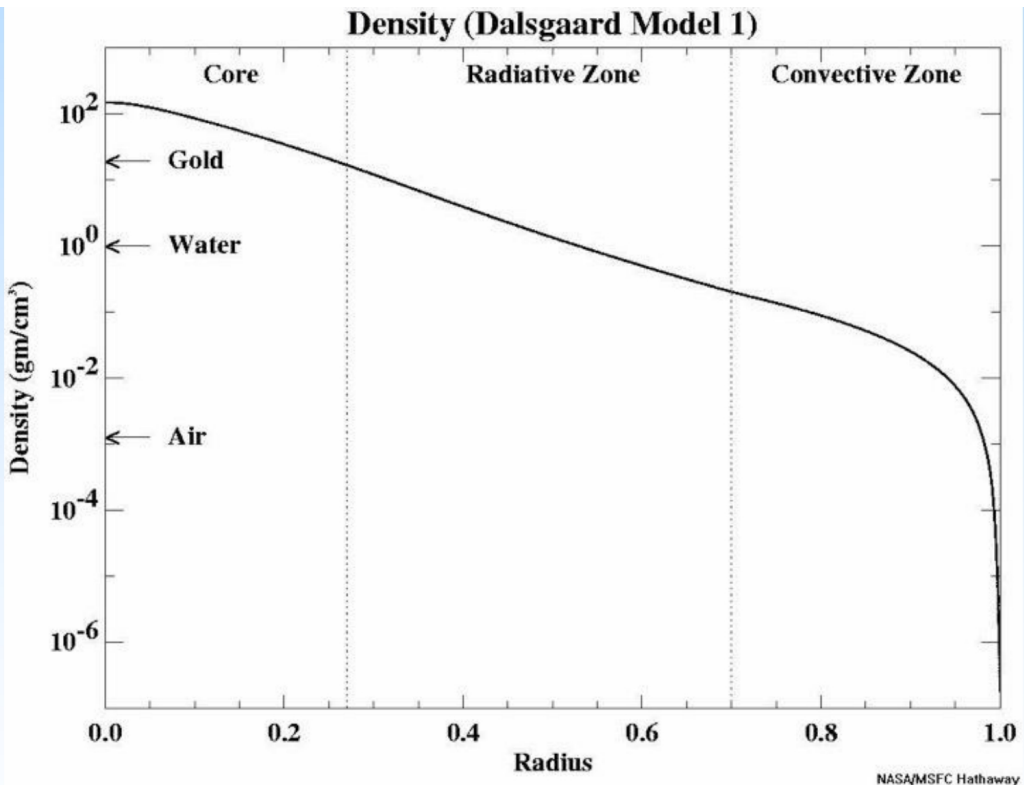


# Проект эксперимента по поиску аксионов с помощью болометров из тулиевого гранта ( $Tm_3Al_5O_{12}$ )

В рамках федеральной программы ФСМ в БНО ИЯИ РАН планируется создать низкофоновую криогенную лабораторию оснащенную криостатами с температурой  $\sim 10$  мк.

Одной из задач лаборатории будет проведение экспериментов по поиску солнечных аксионов.

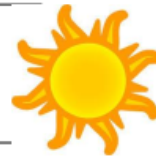
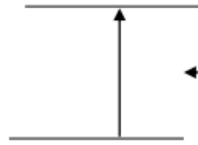
В том числе с использованием криогенных болометров на основе тулиевого граната.



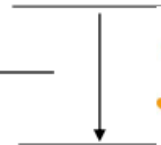
# Резонансное возбуждение ядерных уровней



${}^7\text{Li}$ ,  ${}^{57}\text{Fe}$ ,  ${}^{83}\text{Kr}$ ,  ${}^{169}\text{Tm}$



${}^7\text{Li}$ ,  ${}^{57}\text{Fe}$ ,  ${}^{83}\text{Kr}$ ,  ${}^{169}\text{Tm}$



18. W. C. Haxton and K. Y. Lee, Phys. Rev. Lett. **66**, 2557 (1991).

19. S. Mariyama, Phys. Rev. Lett. **75**, 3222 (1995).

20. M. Krčmar, Z. Krčak, A. Ljubičić, et al., Phys. Rev. D **64**, 115016 (2001).

$$g_{AN}^0 = -4.03 \times 10^{-8} (m_A/1 \text{ eV})$$

$$g_{AN}^3 = -2.75 \times 10^{-8} (m_A/1 \text{ eV})$$

$$\sigma(E_A) = 2\sqrt{\pi}\sigma_{0\gamma} \exp\left[-\frac{4(E_A - E_{M1})^2}{\Gamma^2}\right] \left(\frac{\omega_A}{\omega_\gamma}\right)$$

$$\frac{\omega_A}{\omega_\gamma} = \frac{1}{2\pi\alpha} \frac{1}{1 + \delta^2} \left[ \frac{g_{AN}^0\beta + g_{AN}^3}{(\mu_0 - 0.5)\beta + \mu_3 - \eta} \right]^2 \left(\frac{p_A}{p_\gamma}\right)^3$$

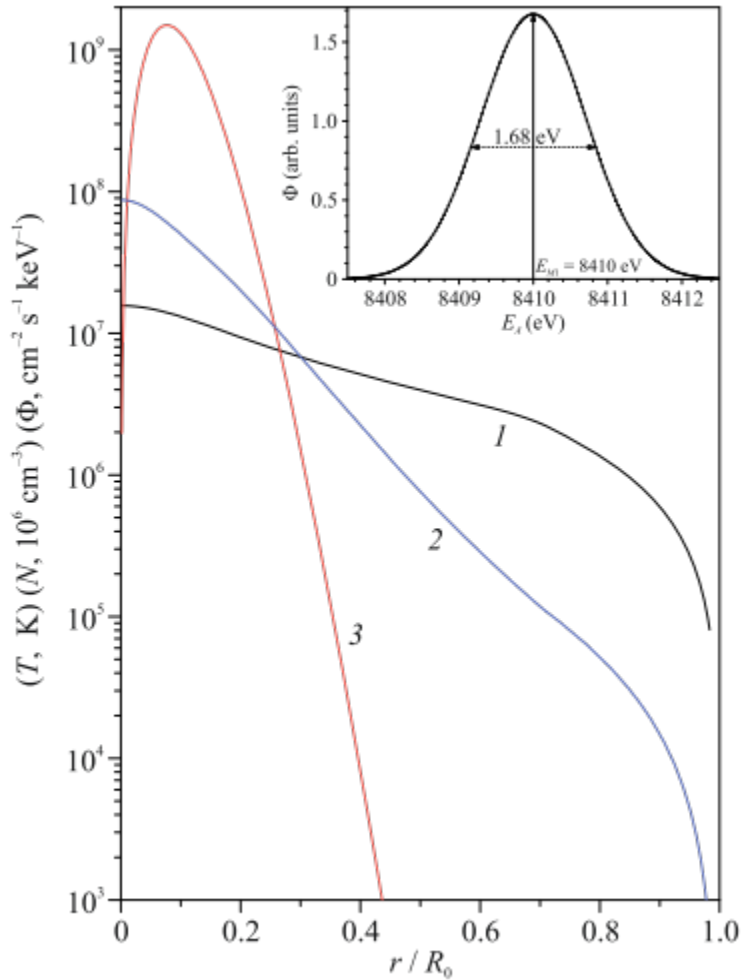
Солнечные монохроматические аксионы могут резонансно возбуждать ядерный уровень в лаборатории, поскольку линия уширяется из-за теплового движения и, таким образом, некоторые аксионы обладают подходящей энергией. Часть аксионов с широким непрерывным спектром (примаковские, комптоновские, тормозные) также удовлетворяет условиям резонансного поглощения. Сечение резонансного поглощения аксионов определяется выражением, аналогичным резонансному поглощению  $\gamma$ -лучей, поправленному на отношение  $\omega_A/\omega_\gamma$ , где  $\sigma_{0\gamma}$  — максимальное сечение резонансного поглощения  $\gamma$ -лучей. Например, экспериментально определенное значение  $\sigma_{0\gamma}$  для ядра  ${}^{57}\text{Fe}$  равно  $2,56 \times 10^{-18} \text{ см}^2$ . Вероятность испускания аксиона ( $\omega_A/\omega_\gamma$ ) определяется приведенным выше выражением и зависит от  $g_{AN}^0$  и  $g_{AN}^3$ . Здесь  $p_\gamma$  и  $p_A$  — импульсы фотона и аксиона соответственно;  $\delta$  — отношение вероятностей E2- и M1- переходов;  $\mu_0$  и  $\mu_3$  — изоскалярный и изовекторный ядерные магнитные моменты соответственно; а  $\beta$  и  $\eta$  — параметры, зависящие от конкретных ядерных матричных элементов.

Изотоп (содержание)	Энергия уровня $E_\gamma$ , кэВ	Время жизни уровня $\tau_\gamma$ , нс	$\exp(-E/kT)$ , при $T=1.2 \cdot 10^7$ К	Доля изотопа по отношению к H	тип перехода	Отношение вероятностей переходов E2 и M1 ( $\delta$ )	Коэффициент внутренней конверсии ( $\alpha_T$ )
Tm-169 (100%)	8.4102	4.09	$2.84 \cdot 10^{-4}$	$1.29 \cdot 10^{-12}$	M1+E2	0.0328	263
Kr-83 (11.5%)	9.4057	156.8	$1.08 \cdot 10^{-4}$	$1.78 \cdot 10^{-9}$	M1+E2	0.0129	17.09
Fe-57 (2.1%)	14.4129	98.3	$8.40 \cdot 10^{-7}$	$6.34 \cdot 10^{-7}$	M1+E2	0.00223	8.56

$$\Phi_A = \frac{N}{\tau_\gamma} \frac{2 \exp(-E_\gamma/kT)}{1 + \exp(-E_\gamma/kT)} \frac{\omega_A}{\omega_\gamma}$$

$$\sigma(T) = E_\gamma \sqrt{\frac{kT}{M}}$$

$$\frac{\Phi_{A, Fe}}{\Phi_{A, Tm}} \simeq 50$$



Радиальные распределения температуры  $T$  (1), концентрации  $N$  атомов  $^{169}\text{Tm}$  (2) и потока аксионов  $\Phi$  (3) из слоя  $r^2 dr$ . Для значений  $(\omega_A/\omega_\gamma) = 4 \cdot 10^{-14}$ ,  $dr = 5 \cdot 10^{-3} R_\odot$ .

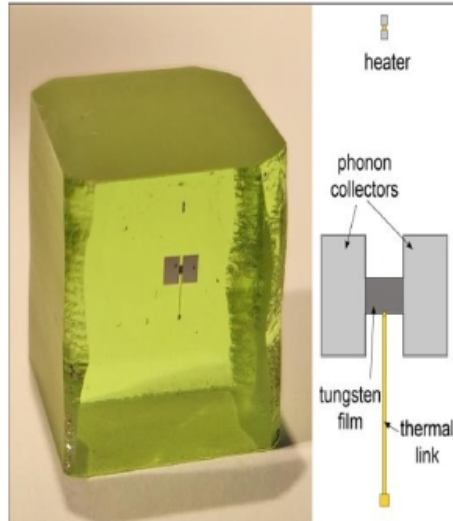
В вставке показан энергетический спектр солнечных аксионов со средней энергией 8,41 кэВ.

A.V. Derbin et al., *JETP Letters*, 2023, Vol. 118, No. 3, pp. 160–164

$$\Phi(E) = 3.73 \cdot 10^{22} \left( \omega_A / \omega_\gamma \right) \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{keV}^{-1}$$

# Новый эксперимент по поиску солнечных аксионов с $Tm_3Al_5O_{12}$ криогенным болометром

Предложен и проведен поиск резонансного поглощения солнечных аксионов ядрами  $^{169}Tm$ . Новый подход заключается в использовании кристалла  $Tm_3Al_5O_{12}$  как болометрического криогенного детектора. Измерения, проведенные с 8 г кристаллом в течении 6.6 сут. позволили установить новые ограничения на константы связи аксиона с фотонами  $g_{A\gamma}$  и электронами  $g_{Ae}$ :  $|g_{A\gamma}(g_{0AN} + g_{3AN})| \leq 1.44 \times 10^{-14} \text{ GeV}^{-1}$  and  $|g_{Ae}(g_{0AN} + g_{3AN})| \leq 2.81 \times 10^{-16}$ .



Кристалл  $Tm_3Al_5O_{12}$  в с нанесенным термистором TES, схема которого приведена справа.

Eur. Phys. J. C (2020) 80:376  
<https://doi.org/10.1140/epjcs/10052-020-7943-5>

THE EUROPEAN  
PHYSICAL JOURNAL C



Regular Article - Experimental Physics

## New limits on the resonant absorption of solar axions obtained with a $^{169}Tm$ -containing cryogenic detector

A. H. Abdelhameed<sup>1</sup>, S. V. Bakhlanov<sup>2</sup>, P. Bauer<sup>1</sup>, A. Bento<sup>1,7</sup>, E. Bertoldo<sup>1</sup>, L. Canonica<sup>1</sup>, A. V. Derbin<sup>2</sup>, I. S. Drachnev<sup>2</sup>, N. Ferreiro Iachellini<sup>1</sup>, D. Fuchs<sup>1</sup>, D. Hauff<sup>1</sup>, M. Laubenstein<sup>3</sup>, D. A. Lis<sup>4</sup>, I. S. Lomsakaya<sup>2</sup>, M. Mancuso<sup>1</sup>, V. N. Muratova<sup>2</sup>, S. Nagorny<sup>5</sup>, S. Nisi<sup>3</sup>, F. Petricca<sup>1</sup>, F. Proebst<sup>1</sup>, J. Rothe<sup>1</sup>, V. V. Ryabchenkov<sup>6</sup>, S. E. Sarkisov<sup>6</sup>, D. A. Semenov<sup>2</sup>, K. A. Subbotin<sup>4</sup>, M. V. Trushin<sup>2</sup>, E. V. Unzhakov<sup>2,4</sup>, E. V. Zharikov<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Max-Planck-Institut für Physik, 80805 Munich, Germany

<sup>2</sup> NRC Kurchatov Institute, Petersburg Nuclear Physics Institute, 188309 Gatchina, Russia

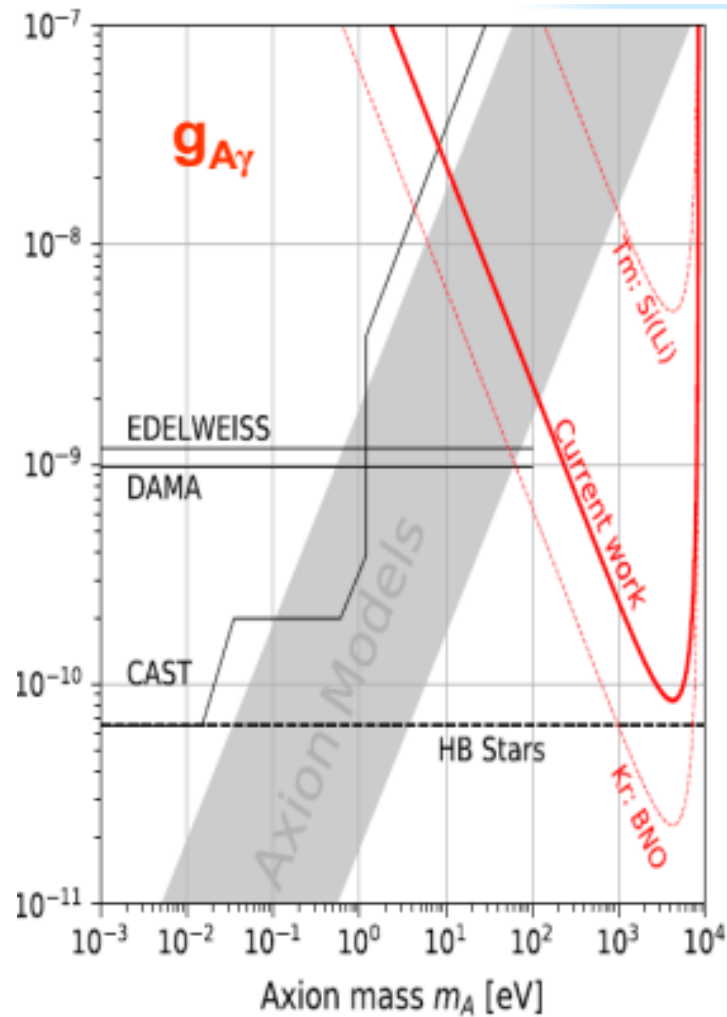
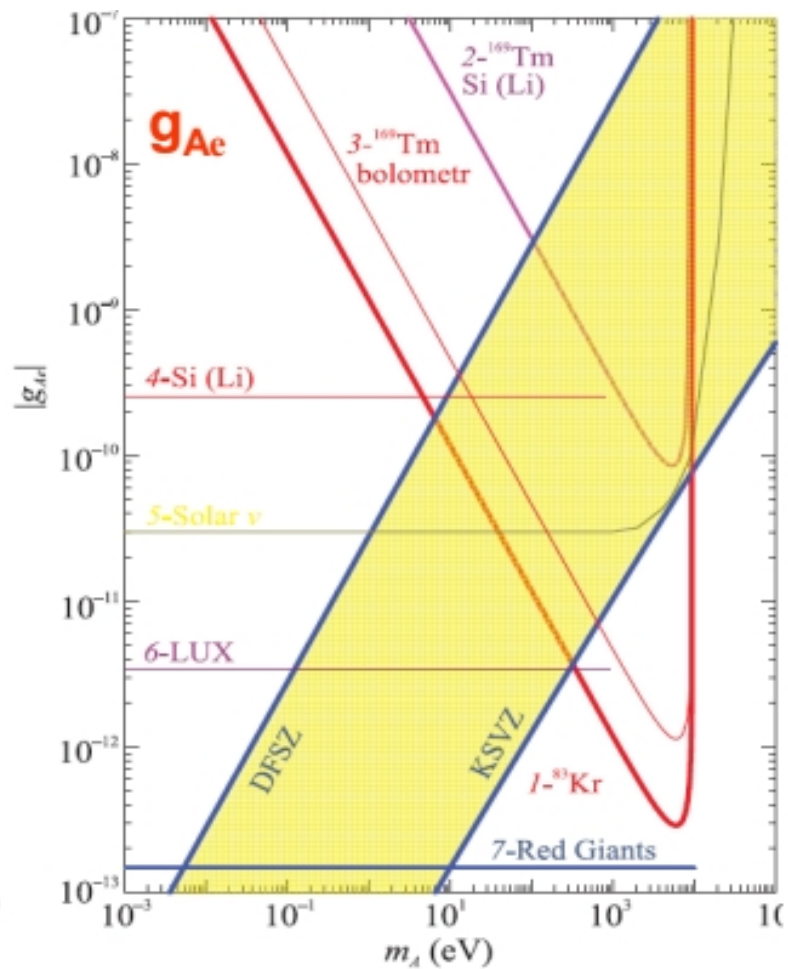
<sup>3</sup> INFN, Laboratori Nazionali del Gran Sasso, 67010 Assergi, Italy

<sup>4</sup> Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences, 119991 Moscow, Russia

<sup>5</sup> Physics Department, Queen's University, Kingston, ON K7L 3N6, Canada

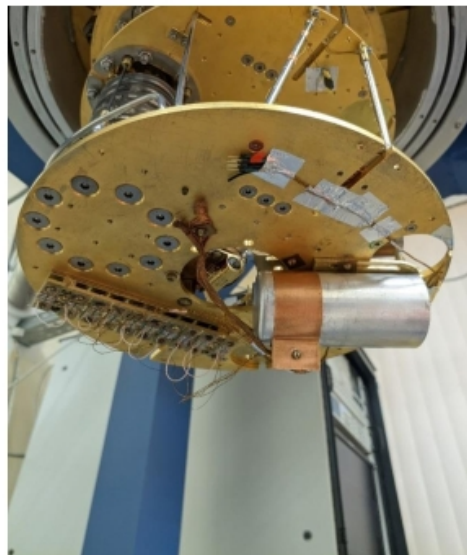
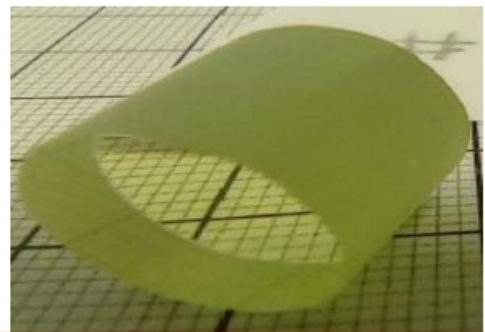
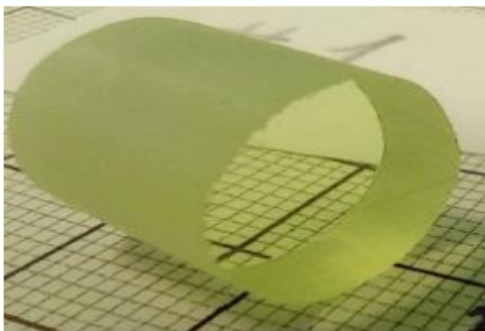
<sup>6</sup> NRC Kurchatov Institute, 123182 Moscow, Russia

<sup>7</sup> Departamento de Física, Universidade de Coimbra, P3004 516 Coimbra, Portugal



## Новые кристаллы $Tm_3Al_5O_{12}$ и криогенная установка в НГТУ

Лаборатория сверхпроводниковой наноэлектроники  
Нижегородский технический университет им. Р.Е. Алексеева

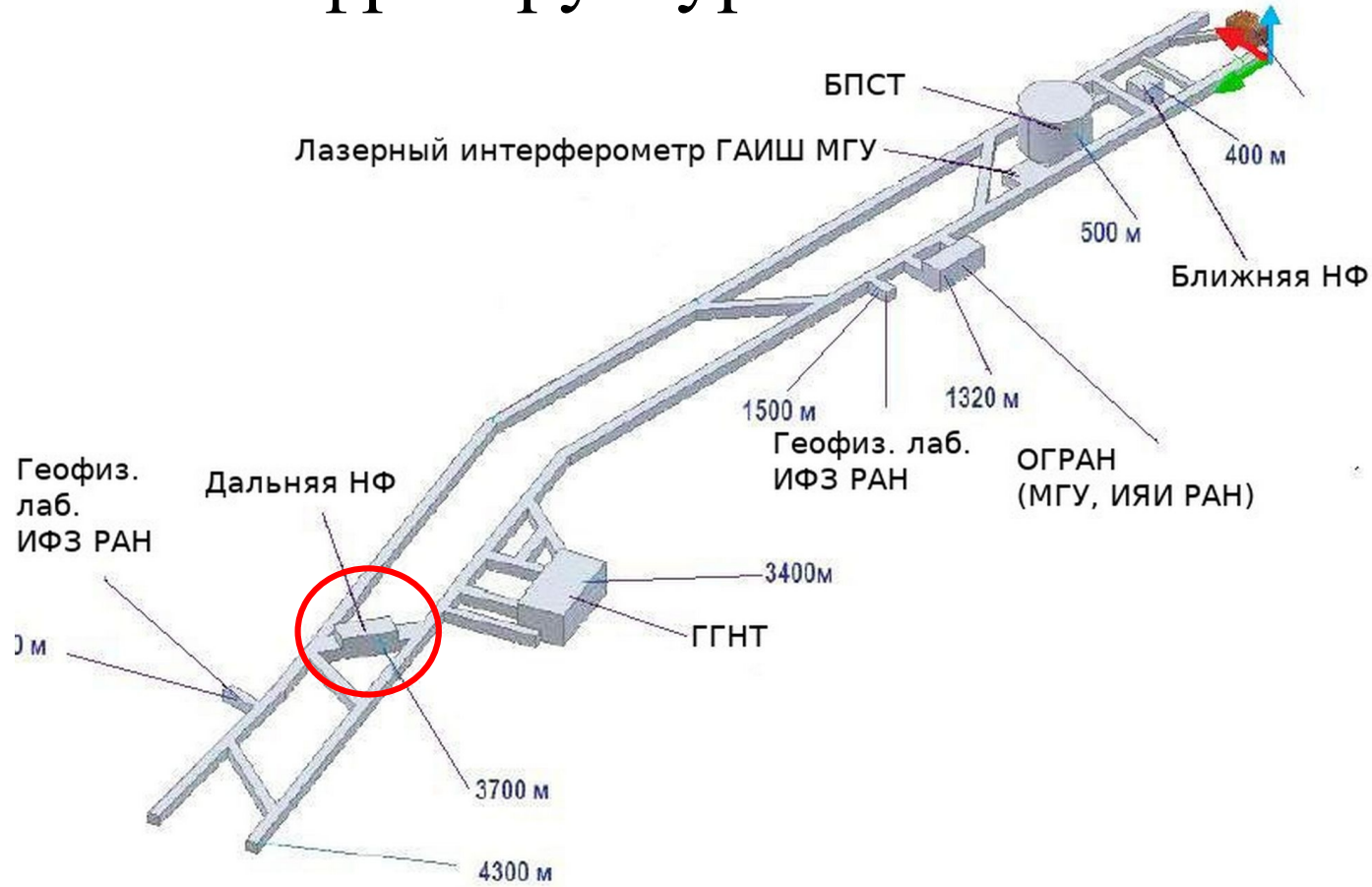


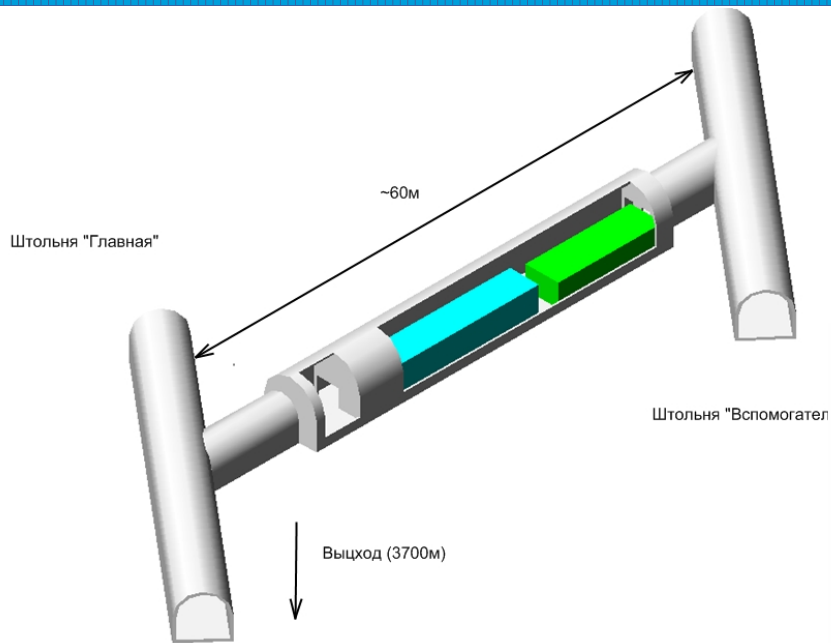
$Tm_3Al_5O_{12}$  кристаллы масса 10 г  
диаметр 12 мм, высота 12 мм

Лаборатория сверхпроводниковой наноэлектроники  
обладает уникальным оборудованием для проведения  
исследований при температурах до 10 мК.

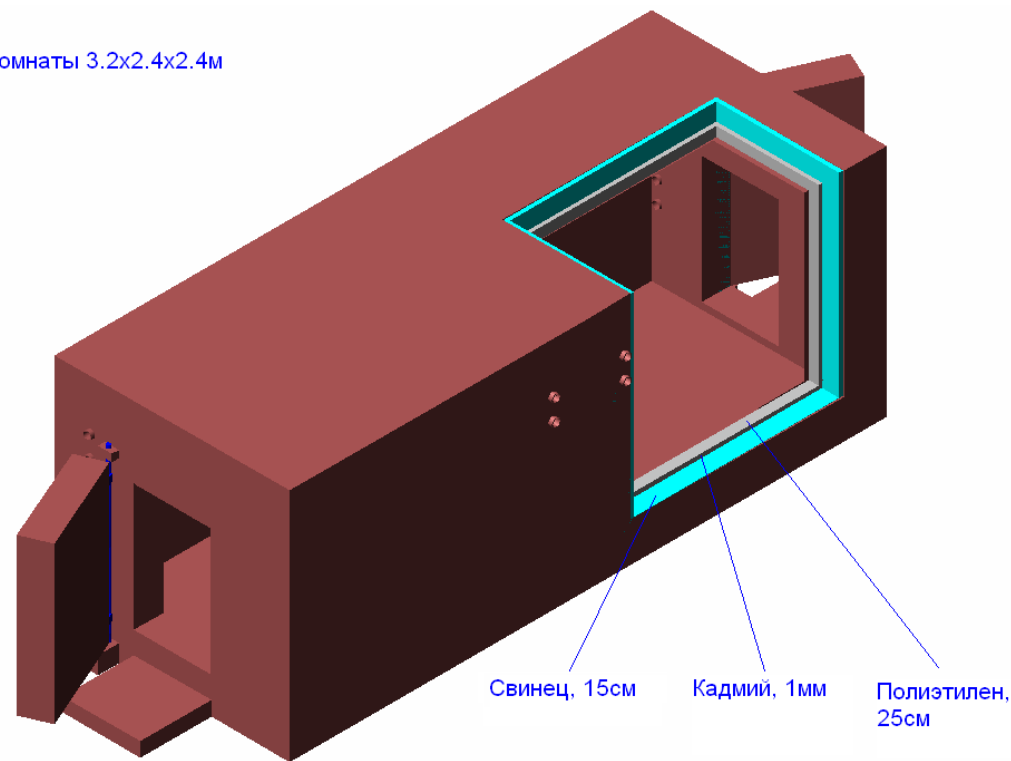
Можно ожидать, что с новыми кристаллами в подземной лаборатории чувствительность к  $g_{Au}$  и  $g_{Ar}$  будет сравнима с результатами  $^{83}Kr$ -эксперимента. При этом для  $Tm$  отсутствует неопределенность в ЯМЭ, которая может привести к существенному уменьшению вероятности регистрации аксиона в  $Kr$ -эксперименте.

# Инфраструктура БНО ИЯИ РАН





Две смежные комнаты 3.2x2.4x2.4м



Состав пассивной защиты:

Полиэтилен — 25  
см

Кадмий — 1 мм

Свинец — 15 см

# Основные фоновые характеристики низкофонных боксов

Поток гамма-квантов, $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	Поток тепловых нейтронов, $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	Поток мюонов, $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	Активность радона в воздухе, $\text{Бк}/\text{м}^3$
<b>0,01</b>	<b><math>\leq 3,8 \cdot 10^{-7}</math></b>	<b><math>3,0 \cdot 10^{-9}</math></b>	<b>25,2</b>

Если, создать экспериментальную установку аналогичную той, что была в эксперименте EDELWEISS-1, т. е. кристаллы Тулиевого гранта находятся в криостате окруженном пассивной защитой, то можно ожидать уровень фона на уровне

$$BI \approx 2 \text{ кэВ}^{-1} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{д}^{-1} = 2.3 \cdot 10^{-5} \text{ кэВ}^{-1} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}.$$

Принимая во внимание что энергетическое разрешение  $\sigma = \text{FWHM}/2.35 = 0.4 \text{ keV}$  для энергии 5.9 кэВ, получим, что область поиска пика составляет  $\sim 2 \text{ кэВ}$ .

Итого, в области поиска фон установки составит:

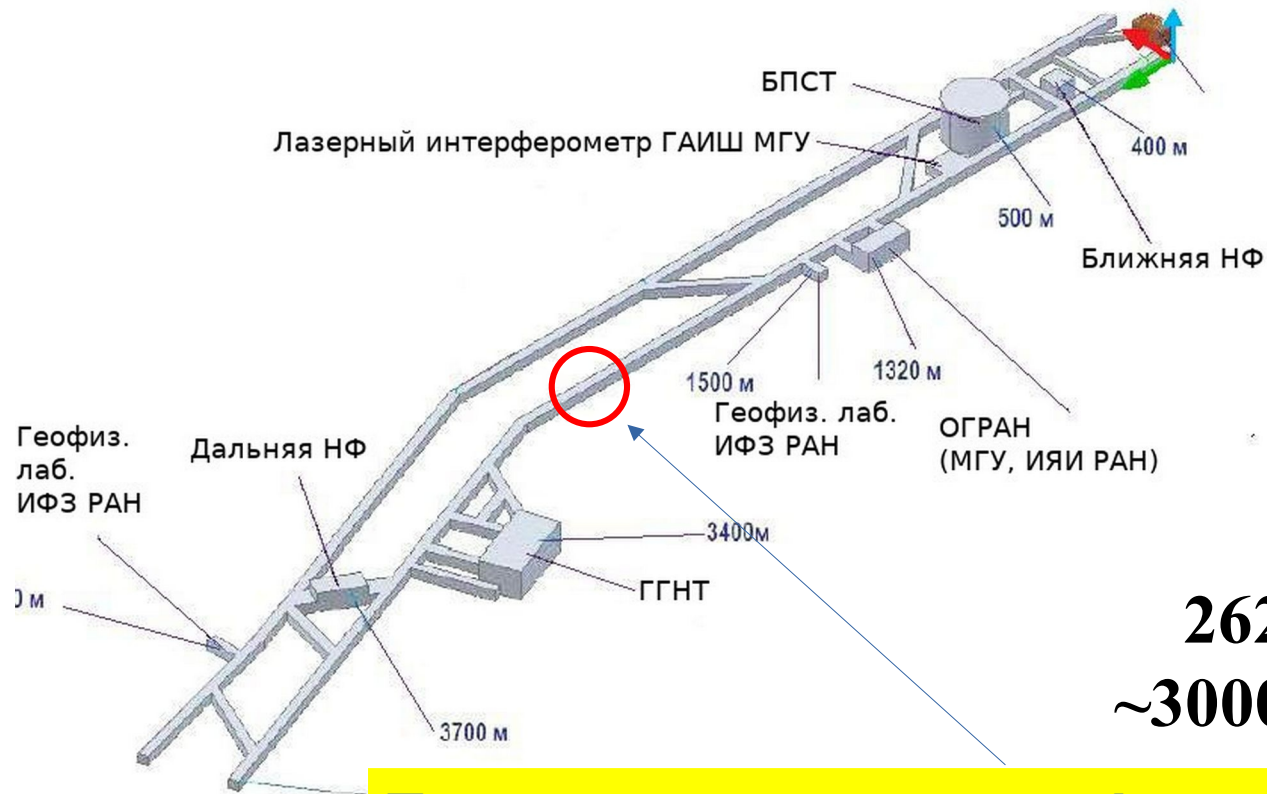
$$B = 4.6 \cdot 10^{-5} \text{ кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$$

# Низкофоновая Лаборатория Глубокого Заложения (НЛГЗ-4900)

глобальная интенсивность мюонов:  $3.0 \pm 0.15) \cdot 10^{-9} \mu / (\text{см}^2 \cdot \text{с})$

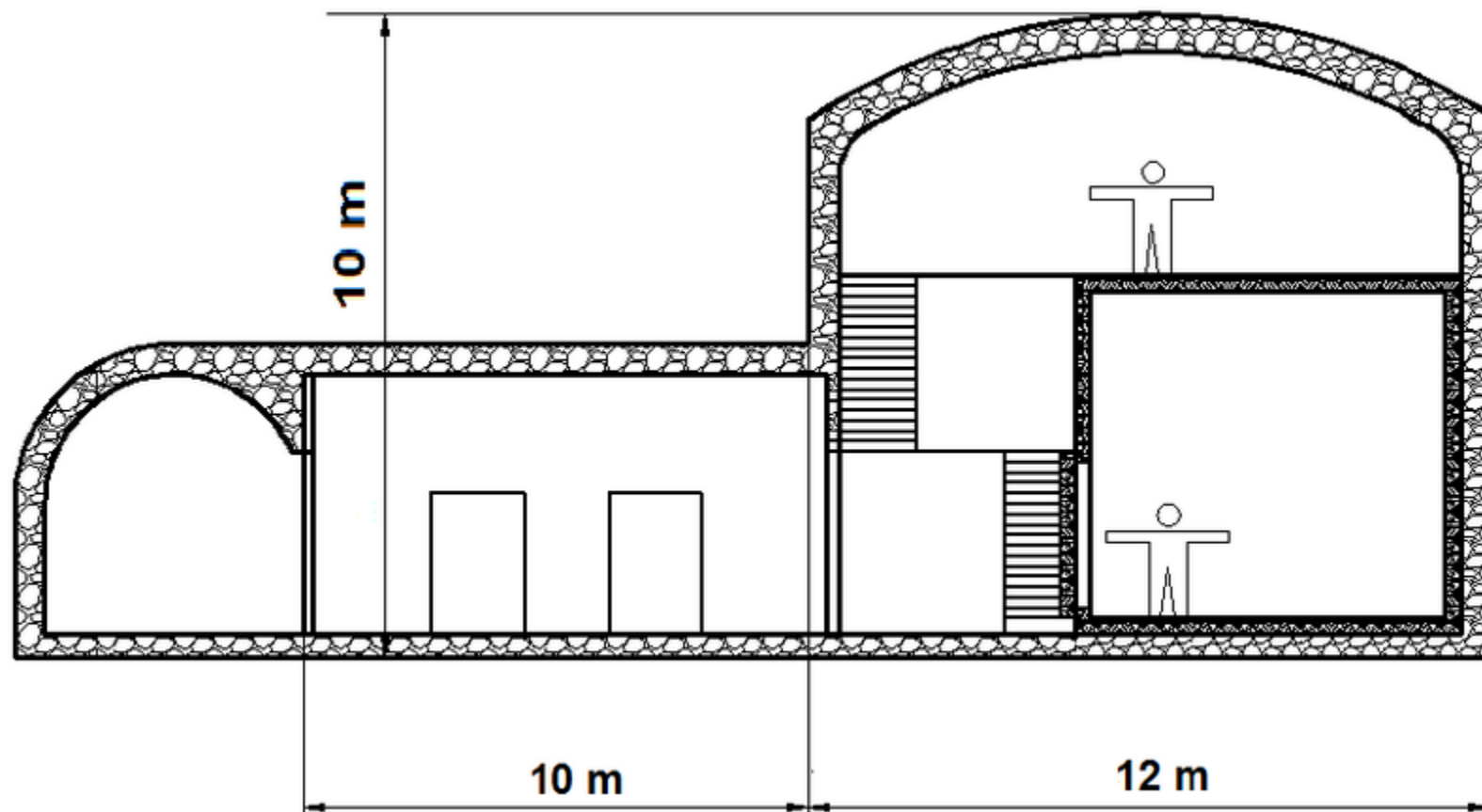
$\sim 1$  мюон/ $(\text{м}^2 \cdot 10$  час.)





**2620 м**  
**~3000 м в.э.**

**Предполагаемое место для низкофоновой криогенной лаборатории**





Гангапшев А.М. СК СЯФ ОФН РАН «Физика фундаментальных взаимодействий».

# Ожидаемые результаты

