

Баксанская нейтринная обсерватория. Современное состояние и перспективы

В.Б. Петков

Институт ядерных исследований РАН



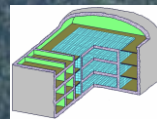
Баксанская нейтринная обсерватория ИЯИ РАН:
уникальный комплекс наземных и подземных установок,
созданных для решения фундаментальных задач в различных
областях науки: от нейтринной астрофизики до геофизики.

“Андырчи”



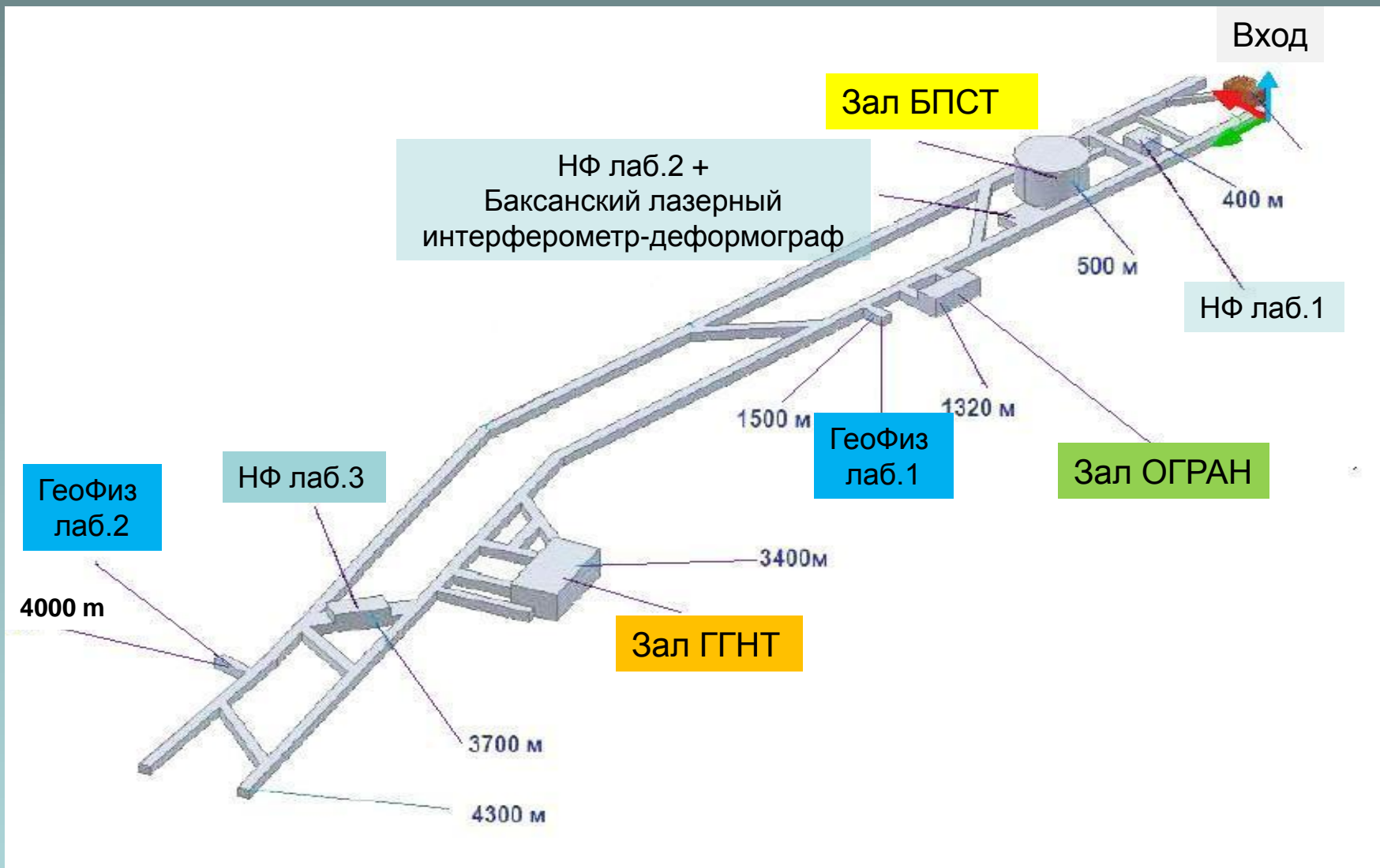
“Ковёр-3”

БПСТ



Вход в тоннель





Подземные лаборатории БНО ИЯИ РАН

Вентиляция: 55 кВт, 30.8 м³/сек

Баксанский подземный сцинтилляционный телескоп



Октябрь 1, четверг 14:45-16.15 Оригинальные доклады. М-Н 2:

- В.Б. Петков. Поиск мюонных нейтрино от областей локализации гравитационно-волновых событий.
- Р.В. Новосельцева. Измерение характеристик потока нейтрино от сверхновой на БПСТ.
- И.Б. Унатлоков. Поиск мюонных нейтрино на БПСТ по алертам от LIGO/Virgo.

Геофизика

Мониторинг региональной геодинамики Приэльбрусья с целью оценки рисков возможных природных катастроф.

- Кавказский регион, включая территорию КБР, относится к одному из наиболее сейсмоактивных регионов России, где возможны катастрофические землетрясения с магнитудой 7.0 и более.
- Эльбрус – единственный в европейской части России активный вулкан (находящийся в настоящее время в состоянии покоя), расположенный в условиях достаточно плотного заселения и развитой инфраструктуры, и поэтому представляющий несомненную опасность для юга Европейской части России.
- Размещение систем наблюдения непосредственно в толще горных пород, где уровень природных и техногенных шумов минимален, позволяет регистрировать слабые сейсмические события, сопровождающие проявления современной магматической и тектонической активности непосредственно в горном массиве.

ГАИШ МГУ: Баксанский лазерный интерферометр-деформограф.

Геофизическая служба РАН: сейсмическая станция.

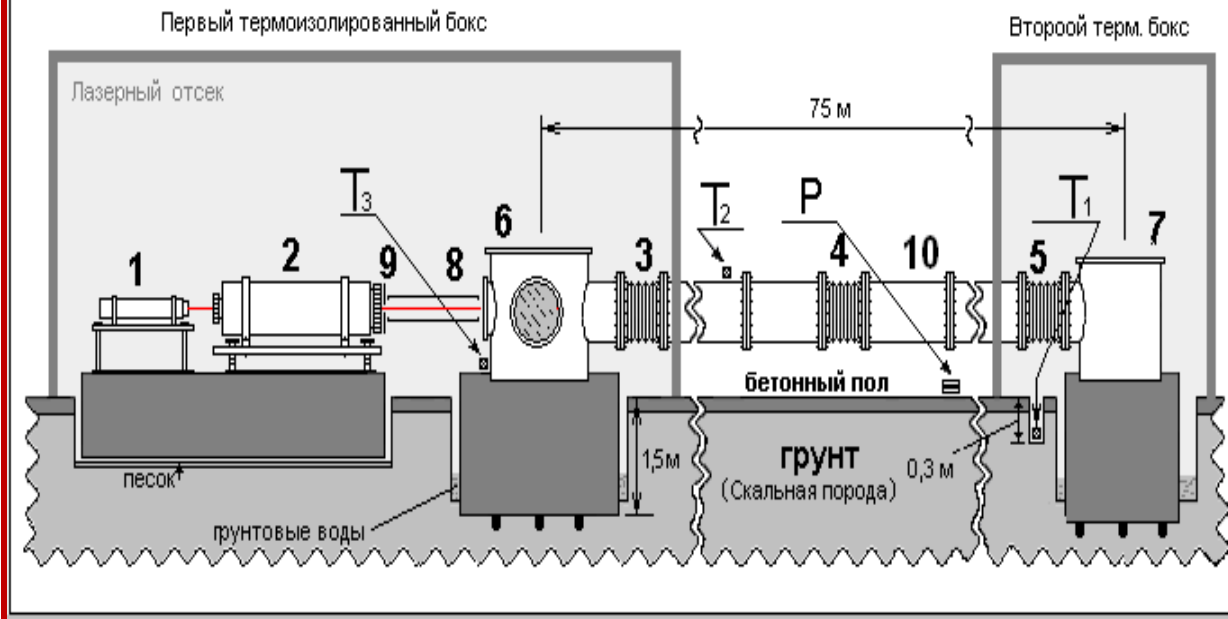
Институт физики Земли РАН: сейсмическая станция, наклономеры, гравиметры, магнитометры



Геофизическая лаборатория № 2 .

Геофизические приборы (наклонометры, гравиметры, магнитные вариометры) размещены на двух бетонных постаментах. Низкий уровень помех и стабильный температурный режим (постоянная температура +38 °С) способствуют успешному проведению геофизических наблюдений

БАКСАНСКИЙ ЛАЗЕРНЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР ГАИШ МГУ



1 – He-Ne лазер; 2 – телескопическая система; 3, 4, 5 – сильфоны; 6, 7 – вакуумные камеры; 8 – невакуумированный светопровод; 9 – диафрагма. T1, T2 и T3 – датчики температуры; P – датчик давления; 10 – вакуумированный светопровод.

Длина измерительного плеча 75 м;

Инструментальное разрешение 2.3×10^{-13} (1.6×10^{-11} м)

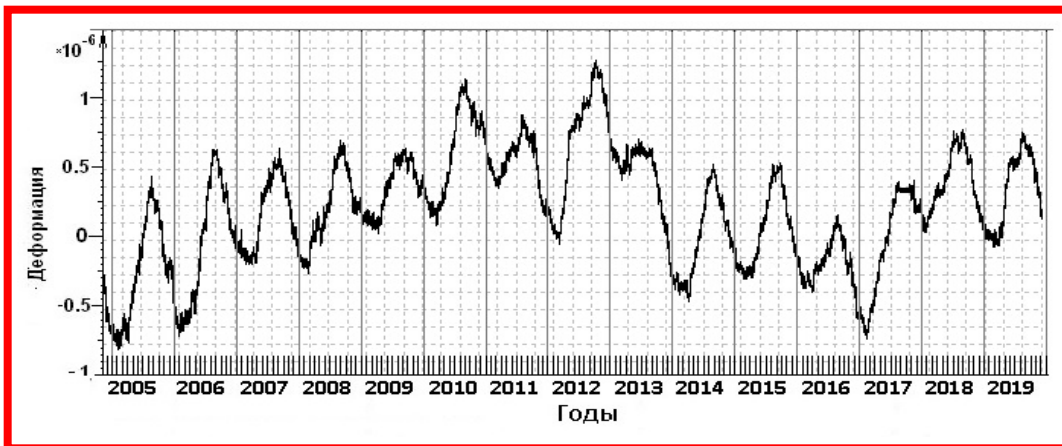
В штатном режиме запись деформаций происходит по следующим каналам:

- 1) НЧ - канал (основной). Запись деформаций в полосе ниже 0.1 Гц.
- 2) Канал "тремор". Запись деформаций в полосе частот 0.1 Гц – 10 Гц.
- 3) Сейсмоакустический канал. Запись квадратурных компонент деформаций на частоте 1620 Гц.
- 4) Сейсмический канал. Запись квадратурных компонент деформаций на частоте 31 Гц.
- 5) Канал "помеха". Запись огибающей деформаций на частоте акустического резонанса штольни (118 Гц).

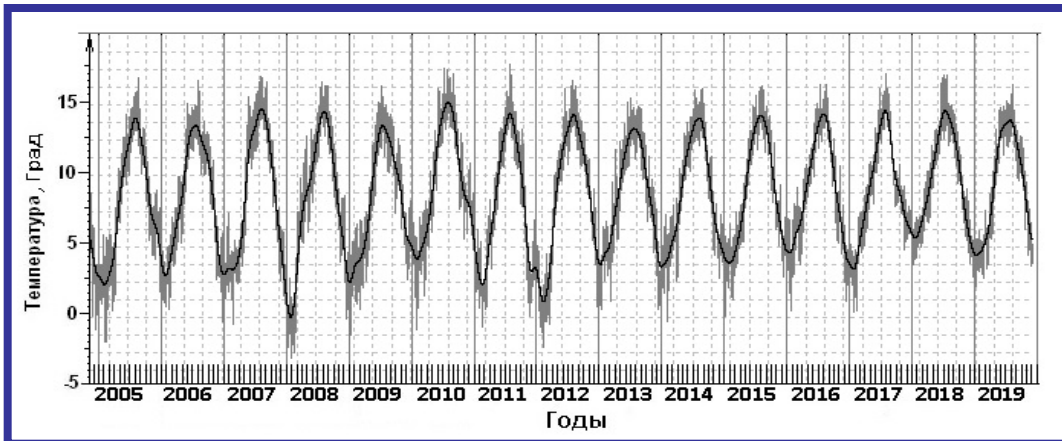
Запись основных метеорологических параметров.

Результаты непрерывных 15-
летних наблюдений на
Баксанской лазерном
интерферометре-
деформографе :

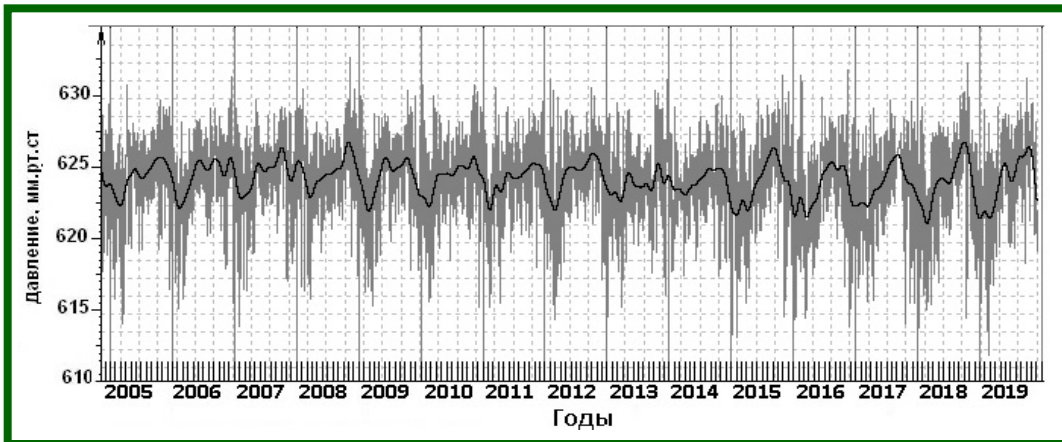
ДЕФОРМАЦИИ (нч
канал)



ТЕМПЕРАТУРА
геофизической среды

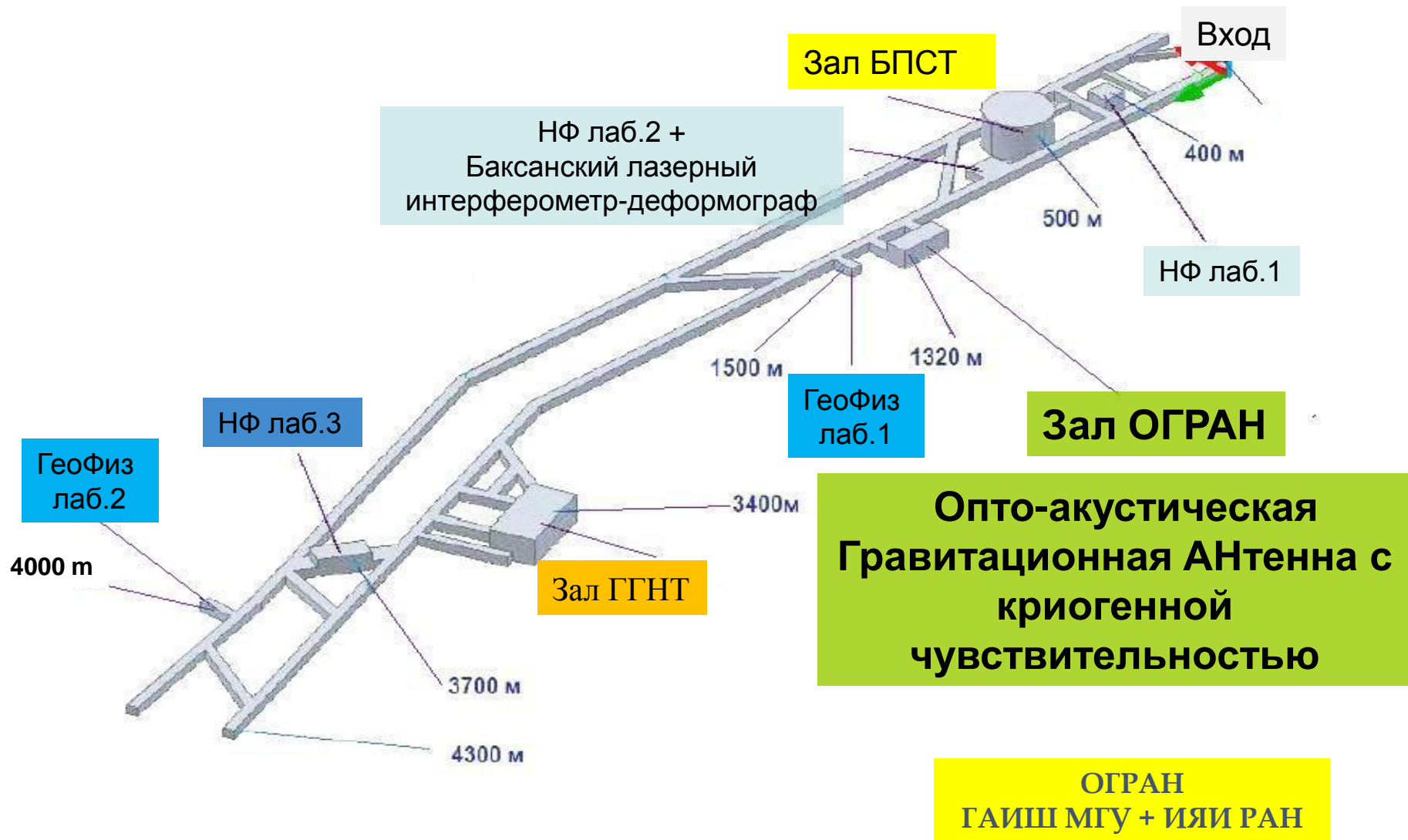


ДАВЛЕНИЕ
атмосферное



Основные геофизические и геодинамические задачи, решаемые на основе данных Баксанского лазерного интерферометра:

- Изучение магматических структур вулкана Эльбрус: резонансные свойства и динамика;
- Приливные деформации и региональные неоднородности;
- Собственные колебания Земли и расщепление фундаментальных мод;
- Деформационные процессы в литосфере и глобальная геодинамика;
- Тонкие резонансные эффекты ядра Земли (собственные колебания внутреннего ядра – мода Шлихтера; близсуточный резонанс внешнего жидкого ядра).

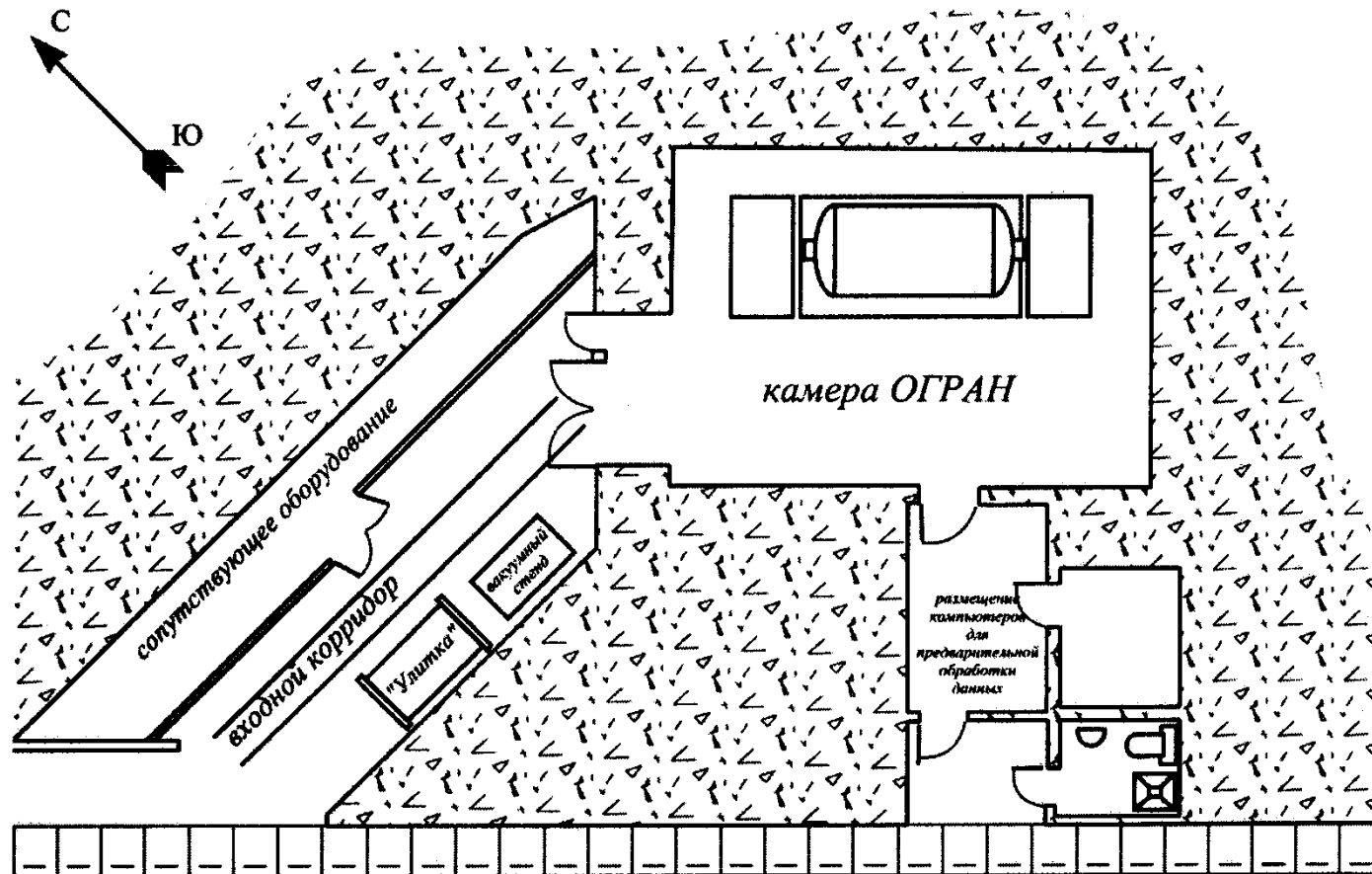


ОГРАН предназначена для регистрации гравитационно-волновых всплесков, от космических катастроф с релятивистскими звездами в Галактике и её ближайшей окрестности (~ 100 кпс).



$$S_n \sim 10^{-18}$$

Принципиально ОГРАН представляет **комбинацию акустического и интерферометрического принципов** детектирования гравитационных сигналов. Это **большой (~ 2 м) акустический резонатор с эталоном Фабри-Перо**, который образован зеркалами, укрепленными на его торцах при внешней оптической накачке. Гравитационная волна, взаимодействуя с обеими степенями свободы, акустической и оптической, индуцирует **специфический отклик сложной структуры**, что облегчает задачу его фильтрации на фоне шумов. Кроме того, малый уровень оптических квантовых флуктуаций позволяет в принципе достигнуть чувствительности криогенных антенн, не прибегая к охлаждению акустической степени свободы



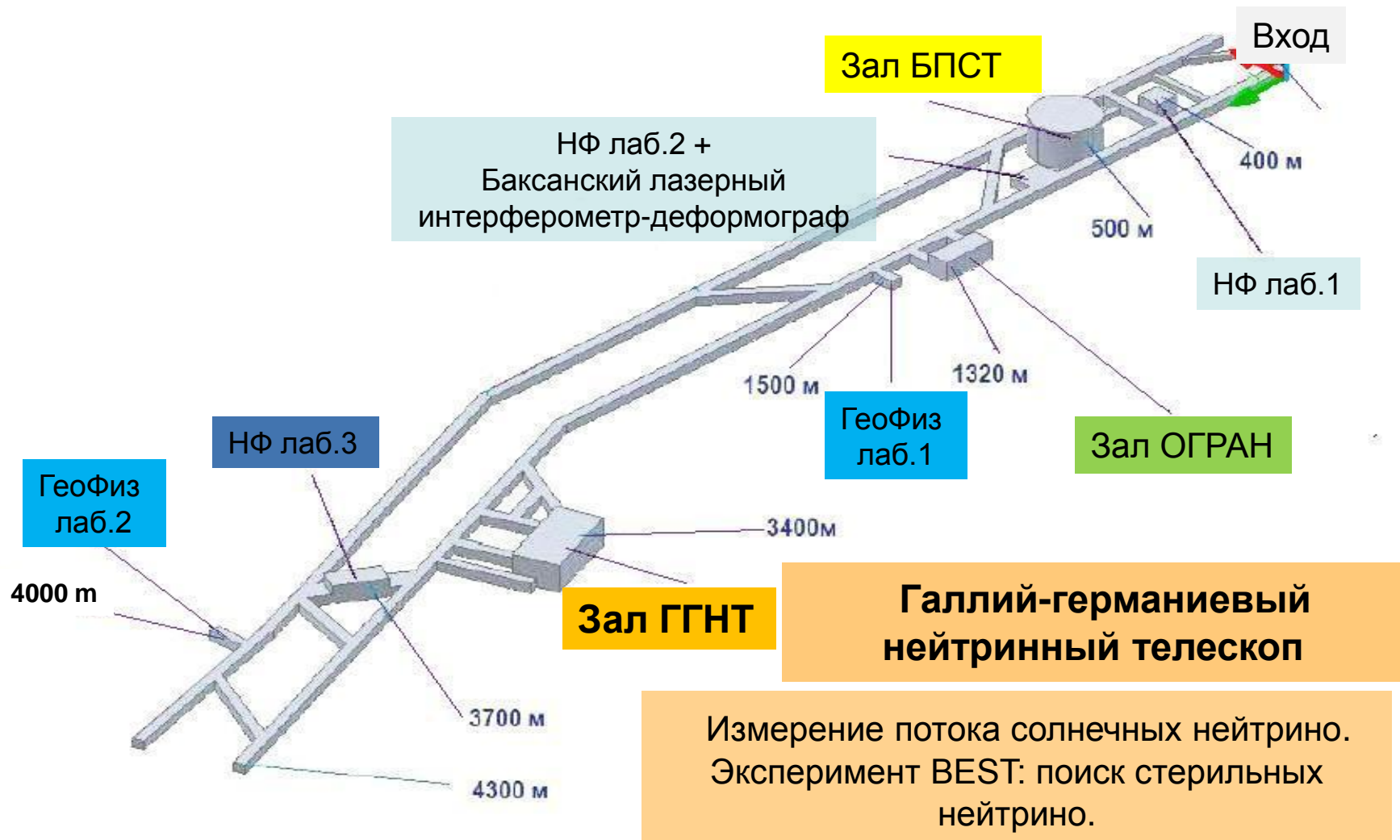
главная штольня БНО

Для уменьшения фона шумов окружения необходимо размещение установки в подземной лаборатории БНО (+ защита от космических частиц) и работа в режиме совпадений с нейтринными детекторами в программе «коллапс». Условие «поиска редких событий» (оценка вероятности события 0.03 /год.гал.) предполагает длительные наблюдения, что требует технического обеспечения надежного функционирования установки в течении ряда лет.



Камера ОГРАН в пылезащитном боксе

Начало работы в режиме непрерывного набора информации: 2022 год?



$^{71}\text{Ga} (\nu_e, e^-) ^{71}\text{Ge}$ - порог реакции **0.233 МэВ**, что существенно ниже максимальной энергии **0.423 МэВ** нейтрино от **pp-цепи**. Благодаря этому ГГНТ имеет возможность регистрировать **pp-нейтрино**, дающие наибольший вклад в полный поток солнечных нейтрино.

FFHT

Global intensity of muon

$$- (3.03 \pm 0.19) \times 10^{-9} (\text{cm}^2\text{s})^{-1}$$

Average energy of muon: 381 GeV

Fast neutron flux (>3MeV)

$$- (6.28 \pm 2.20) \times 10^{-8} (\text{cm}^2\text{s})^{-1}$$

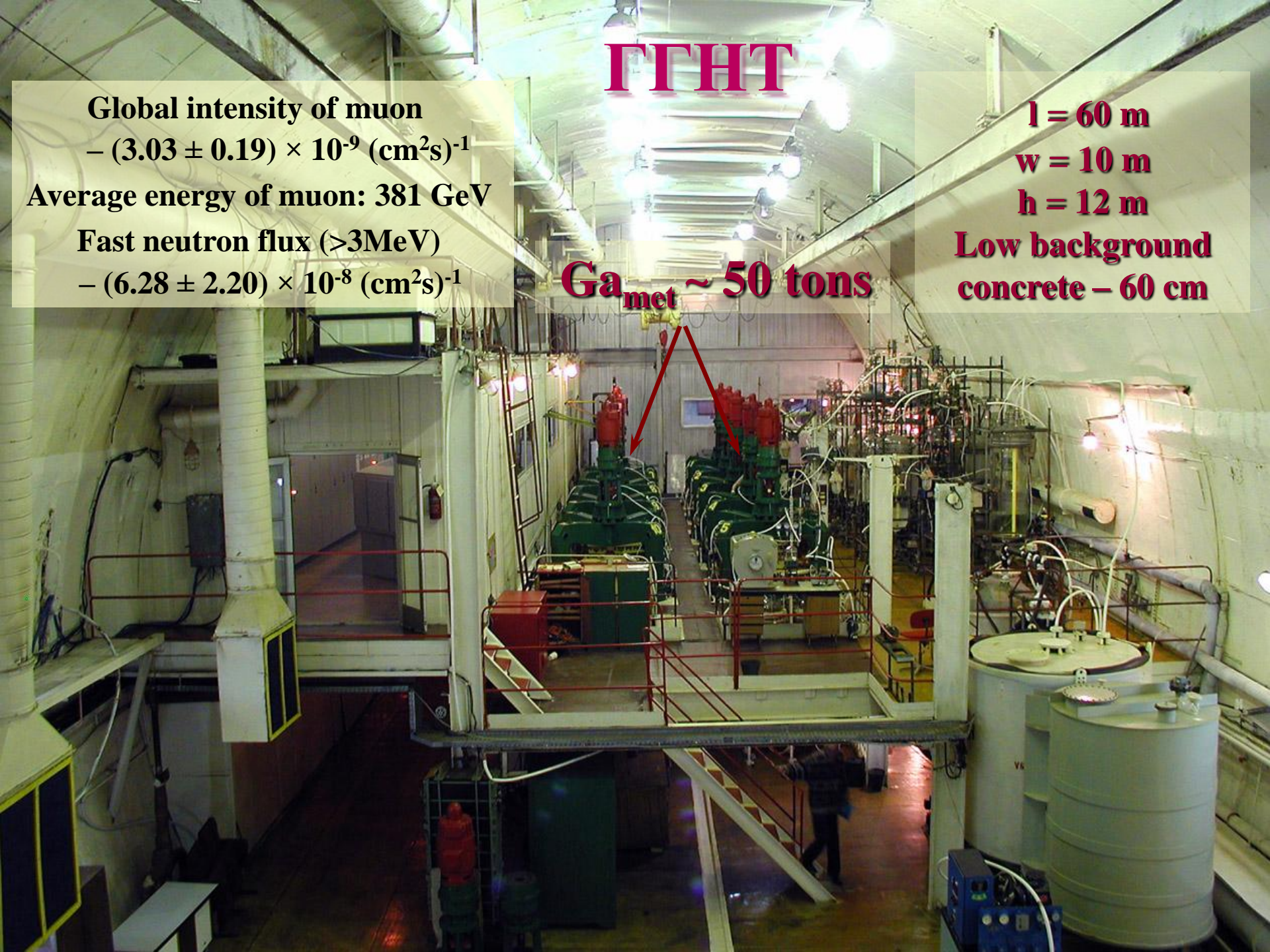
$$l = 60 \text{ m}$$

$$w = 10 \text{ m}$$

$$h = 12 \text{ m}$$

Low background
concrete – 60 cm

Ga_{met} ~ 50 tons



Ga experiments

SAGE

50 tons of metallic Ga

168 runs (Jan 1990 – Dec 2007) result

$65.4^{+4.0}_{-4.1}$ SNU [Phys. Rev. C 80, 015807 (2009)]



The first Ga experiments results provided a direct indication of the neutrino oscillations existence that became a strong justification for the SNO experiment.

(1 SNU = 1 interaction/s in a target that contains 10^{36} atoms of the neutrino absorbing isotope),

${}^{71}\text{Ga}(\nu_e, e^-){}^{71}\text{Ge}$, $E_{\text{th}} = 233 \text{ keV}$

The Russian-American experiment SAGE began to measure the solar neutrino capture rate with a target of gallium metal in December 1989

GALLEX (May 1991 – Jan 1997)

GNO (May 1998 – Apr 2003)

30 t of Ga (103 tons of GaCl_3 acidic solution)

GALLEX, 65 runs: $73.1^{+7.1}_{-7.3}$ SNU (at TAUP2007)

GNO, 58 runs: $62.9^{+5.5}_{-5.3}$ SNU

GALLEX + GNO : 67.5 ± 5.1 SNU

The weighted average of the results of all Ga solar experiments is 66.1 ± 3.1 SNU . Ga experiments have shown deficit of solar neutrino in the entire energy range.

SAGE & GALLEX neutrino source experiments

Neutrino sources:

⁵¹Cr: 747 keV (81.6%), 427 keV (9.0%), 752 keV (8.5%), 432 keV (0.9%)

³⁷Ar: 811 keV (90.2%), 813 keV (9.8%)

1994–1995
GALLEX:
1995–1996

$$\left\{ \begin{array}{l} A(\text{Cr}_1) = 1.714 \pm 0.036 \text{ MCi} \\ A(\text{Cr}_2) = 1.868 \pm 0.073 \text{ MCi} \end{array} \right.$$

1994–1995
SAGE:
2004

$$\left\{ \begin{array}{l} A(\text{Cr}) = 0.517 \pm 0.006 \text{ MCi} \\ A(\text{Ar}) = 0.409 \pm 0.002 \text{ MCi} \end{array} \right.$$

Results:

PLB 342 (1995)
GALLEX:
PLB 420 (1998)

$$\left\{ \begin{array}{l} R_1(\text{Cr}) = 0.953 \pm 0.11 \\ R_2(\text{Cr}) = 0.812 \pm 0.10 \end{array} \right.$$

PRC 59 (1999)
SAGE:
PRC 73 (2006)

$$\left\{ \begin{array}{l} R_3(\text{Cr}) = 0.95 \pm 0.12 \\ R_4(\text{Ar}) = 0.791 \pm 0.084 \end{array} \right.$$

R – ratio of the measured production rate to that expected [**Bahcall 97**] (no uncertainty on cross section included)

The differences of 4 times in activities and more than 2 times in target masses result in equal uncertainties of the experiments. The cause is different sensitivity of the targets to ν from sources and dimensions of the sources.

Gallium anomaly: [Mario A. Acero, Carlo Giunti, and Marco Laveder. Phys. Rev. D 78, 073009 (2008), arXiv:0711.4222v3]

The neutrino capture rate measured by the Ga detectors SAGE with ⁵¹Cr and ³⁷Ar artificial neutrino sources is considerably less than expected.

$$R_{ave\text{-Bahcall}} = 0.87 \pm 0.05 (2.6\sigma)$$

$$R_{ave\text{-Frefers}} = 0.84 \pm 0.05 (2.9\sigma) \text{ [S Gariazzo, C Giunti, M Laveder, Y F Li, E M Zavanin, arXiv:1507.08204v1 [hep-ph]]}$$

Эксперимент BEST (Baksan Experiment on Sterile Transitions): поиск стерильных нейтрино, $\nu_e \rightarrow \nu_s$

Результаты проведенных за последние десятилетия нейтринных экспериментов в основном подтверждают стандартную модель с тремя типами активных нейтрино. Но в ряде экспериментов (при $L < 1$ км) были обнаружены аномалии на уровне $2.8\sigma - 3.8\sigma$.

Ускорительные эксперименты: до 3.8σ

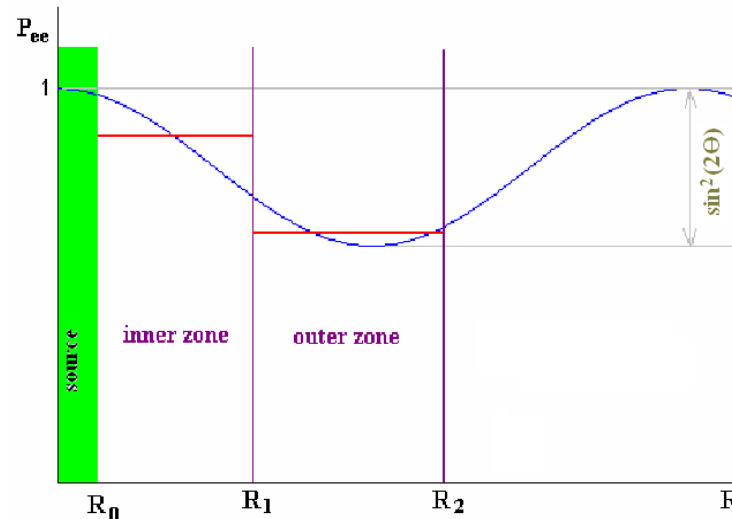
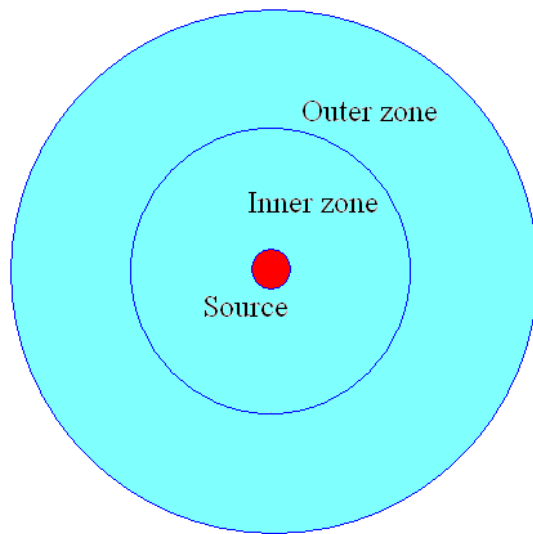
Реакторная аномалия: недостаток электронных антинейтрино, 3.0σ

Калибровка галлиевых детекторов солнечных нейтрино (“галлиевая аномалия”): SAGE/GALLEX, недостаток ν_e , 2.9σ

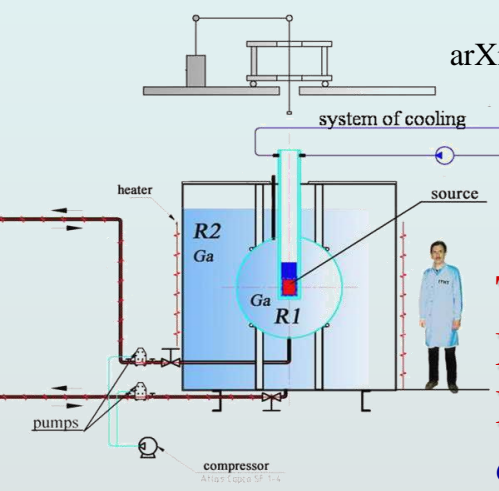
In a new Ga experiment we will increase the sensitivity to oscillations by separating the target in two independent zones – include space sensitivity, two different baselines

Features:

- (Almost) monochromatic pure ν_e (0.75 MeV)
- Known neutrino flux
- Small size of source (several cm)
- Negligible backgrounds
- High density of ν_e interactions in Ga metal



First proposal of two zone Ga experiment with ^{51}Cr (3MCi) source

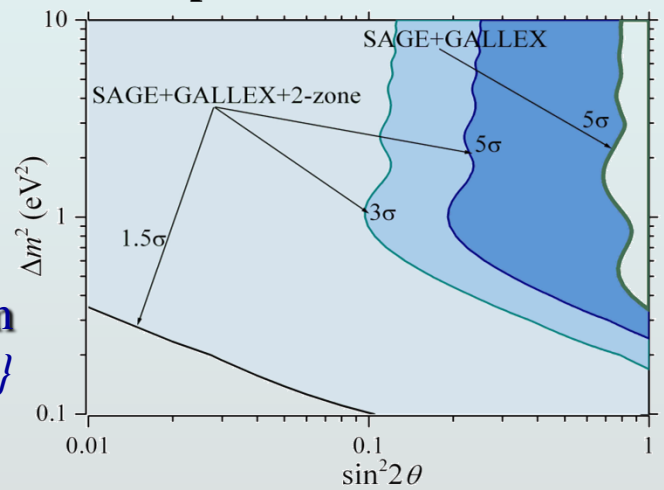


arXiv:1006.2103v2 [nucl-ex]

The rate at SOE: **64.5 atoms/day**

- Target: 50 T Ga metall**
- Masses of the zones: 8 t and 42 t**
- Path length in each zone: $\langle L \rangle = 55$ cm**
- σ – cross sect. $\{5.8 \times 10^{-45} \text{ cm}^2 \text{ [Bahcall]}\}$

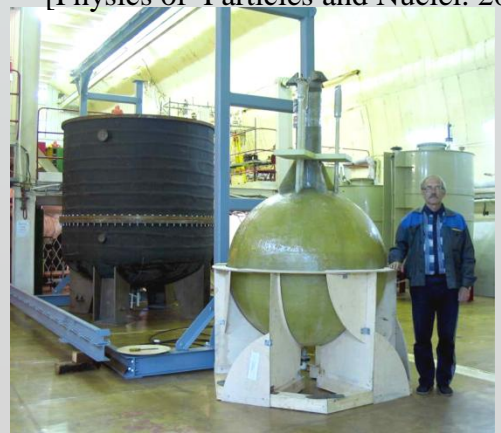
The region in $\Delta m^2 - \sin^2(2\theta)$ space to which the new 3 MCi ^{51}Cr experiment will be sensitive



arXiv:1204.5379v1 [hep-ph] 18 Apr 2012

Since 2011 construction of the BEST experiment installation started

[Physics of Particles and Nuclei. 2015. Vol.46, No.2. pp.131-137]





BEST installation

The source was immediately placed at the center of the two-zone target of liquid gallium.

First stage of the BEST experiment began.



In the photos you see the moment of source overload from a transport container into a two-zone Ga target.



At 14:02 Moscow time (5 July 2019) the first irradiation of the two-zone gallium target has started.

The BEST stages

1. Working with the ^{51}Cr source (completed on October 2019):

- 10 exposures of a 2-zone gallium target by the source
- 20 extractions from 2 zones of gallium target,
- 10 calorimetric measurements of the source activity,
- 11 spectrometric measurements of the gamma spectrum of the source,
- synthesis of germane (GeH_4) and filling counters
- installation of filled counters in the counting systems

2. ^{71}Ge decay measurements (completed on March 2020):

- primary data collection and processing,
- preliminary data analysis
- comparative crosscheck data analysis

3. Tests and checks (around the end of August):

- production of ^{37}Ar , ^{71}Ge isotopes
- verification of counting systems,
- measurement of the counters volumetric and peak efficiencies,
- estimation of all systematic uncertainties

4. Interpretation and presentation of results (September 2020)

Extraction schedule and related parameters

The times of exposure are given in days of year 2019

Source exposure				Extraction		Massa Ga (tons)	Extraction efficiency		Extraction		Massa Ga (tons)	Extraction efficiency	
Begin		End		from cylindrical target			from spherical target		from Ga	into GeH ₄		from Ga	into GeH ₄
Dayyear	Mo Da Hr Mn	Dayyear	Mo Da Hr Mn	Name	Date (2019)		Name	Date (2019)					
186.585	07.05 14:02	196.376	07.15 09:02	Cr1	15 Jul 13:59	40.09	0.97	0.91	Cr11	15 Jul 16:01	7.4	0.98	0.93
197.362	07.16 08:41	206.372	07.25 08:56	Cr2	25 Jul 13:51	40.09	0.97	0.92	Cr21	25 Jul 16:32	7.4	0.97	0.92
207.282	07.26 06:47	216.374	08.04 08:59	Cr3	04 Aug 12:47	40.09	0.98	0.97	Cr31	04 Aug 16:37	7.4	0.97	0.92
217.286	08.05 06:52	226.371	08.14 08:54	Cr4	14 Aug 12:51	40.09	0.98	0.94	Cr41	14 Aug 15:35	7.4	0.97	0.92
227.258	08.15 06:12	236.458	08.24 11:00	Cr5	24 Aug 14:35	40.09	1.00	0.97	Cr51	24 Aug 17:17	7.4	0.99	0.96
237.342	08.25 08:13	246.37	09.03 08:51	Cr6	03 Sep 12:35	40.09	1.00	0.98	Cr61	03 Sep 15:18	7.4	1.00	1.00
247.243	09.04 05:50	256.368	09.13 08:50	Cr7	13 Sep 12:29	40.09	1.00	1.00	Cr71	13 Sep 15:11	7.4	1.00	1.00
257.241	09.14 05:47	266.37	09.23 08:52	Cr8	23 Sep 12:32	40.09	1.00	1.00	Cr81	23 Sep 15:17	7.4	1.00	1.00
267.240	09.24 05:46	276.369	10.03 08:51	Cr9	03 Oct 12:27	40.09	0.95	0.88	Cr91	03 Oct 15:00	7.4	0.97	0.92
277.200	10.04 04:49	286.367	10.13 08:48	Cr10	13 Oct 12:26	40.09	0.99	0.95	Cr101	13 Oct 14:59	7.4	0.99	0.94

10 targets irradiations:

Mean exposure time - 9.18 d;

Masses : 7.4 t and 40.09 t;

Mean extraction eff. from Ga is 98%;

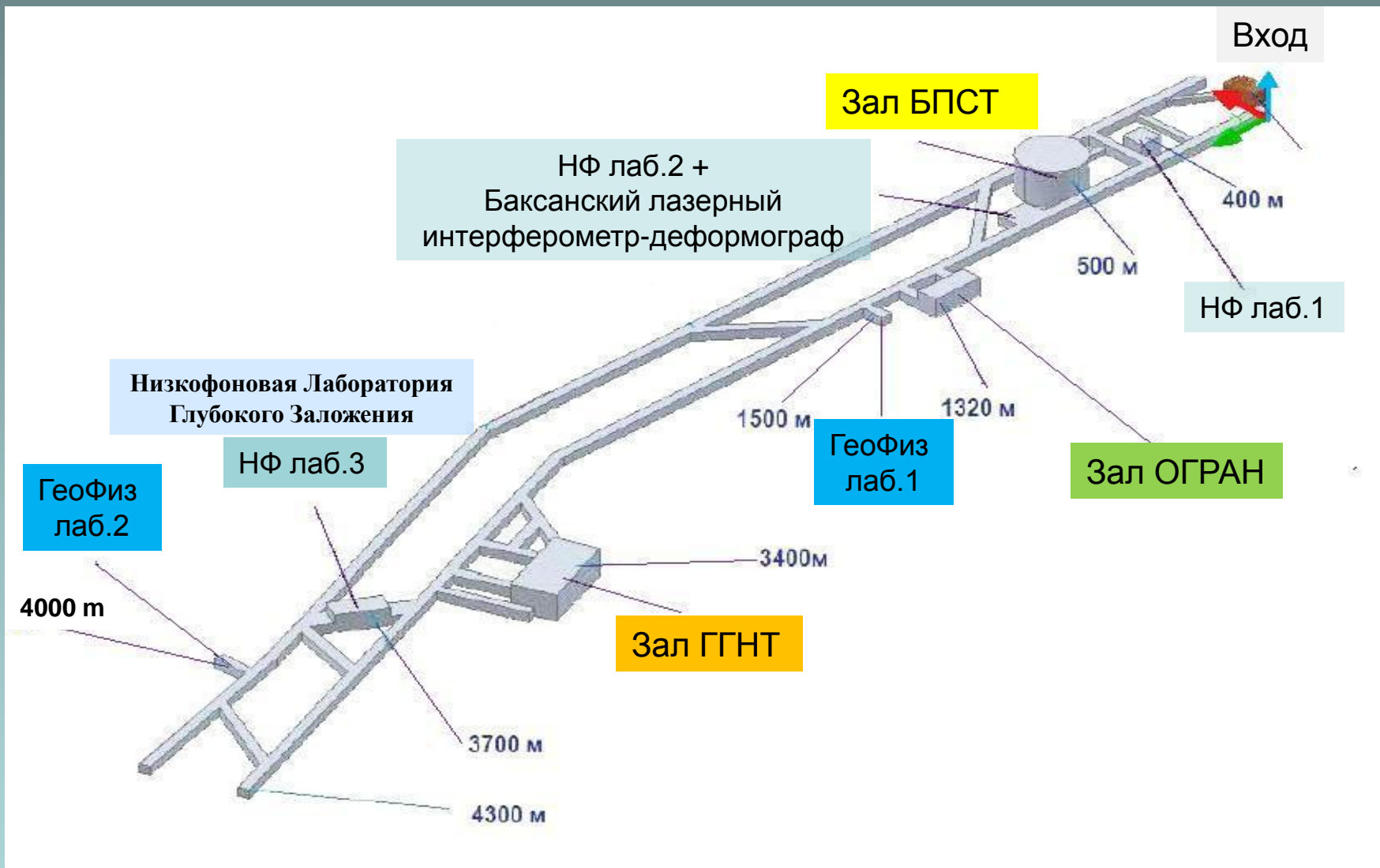
Mean the overall efficiency including synthesis into the counting gas GeH₄ - 96%;

The efficiency of extraction was measured by adding to the Ga a known mass of inactive Ge carrier before the start of exposure to the neutrino source and measuring the mass of extracted Ge.

The mass of added carriers of ~2.4 μmol of ⁷²Ge (92%) and ⁷⁶Ge(95%) were used. 📢

Summary

- The BEST experiment - first direct search for neutrino oscillations into 4-th flavor with radioactive source has started 5 July 2019 in BNO INR RAS
- The first stage of BEST is finished and the second stage is nearing completion. Currently preparatory works have begun for the implementation of the third final one.
- Spectrometric measurements of gamma radiation of the source shown a high purity of the material used to production the ^{51}Cr source and therefore a negligible contributions ($\sim 10^{-6}$) from impurity radio nuclides to the calorimetric source activity measurements
- Obtained a precise value of the source activity from the calorimetric measurements which is **3.4099 ± 0.008 M Ci on 05.07.2019 at 14:02**
- Results of data measurements analysis is expected in September 2020



Низкофоновые лаборатории

Поиск и исследование редких реакций и распадов:
требуется дополнительная защита.

Низкофоновая Лаборатория Глубокого Заложения (НЛГЗ-4900)

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

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



Стены низкофоновой комнаты – 25 см полиэтилен + 0.1 см Cd + 15 см Pb

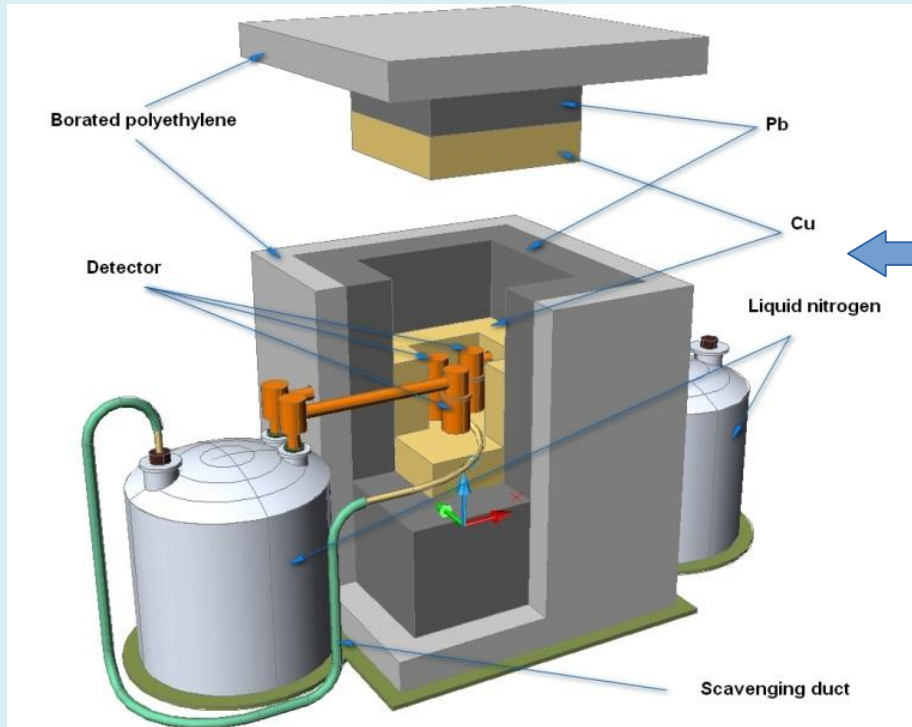
Поиск и исследование редких реакций и распадов.

- Поиск двойного К-захвата Хе-124
- Поиск солнечных аксионов
- Измерение стабильности периода полураспада различных ядер во времени

Прикладные исследования

- Измерение содержания радиоизотопов в различных материалах
- Изучение особенностей протекания молекулярно-биологических процессов в условиях низкого радиационного фона

Сферхнизкофоновые гамма-спектрометры для измерения содержания радиоизотопов в материалах



«НИКА»

**Полупроводниковый детектор
на основе сверхчистого германия**

Пассивная защита из

80 мм полиэтилена

150 мм свинца

100 мм меди

«СНЕГ»

**Полупроводниковый детектор
на основе сверхчистого германия**

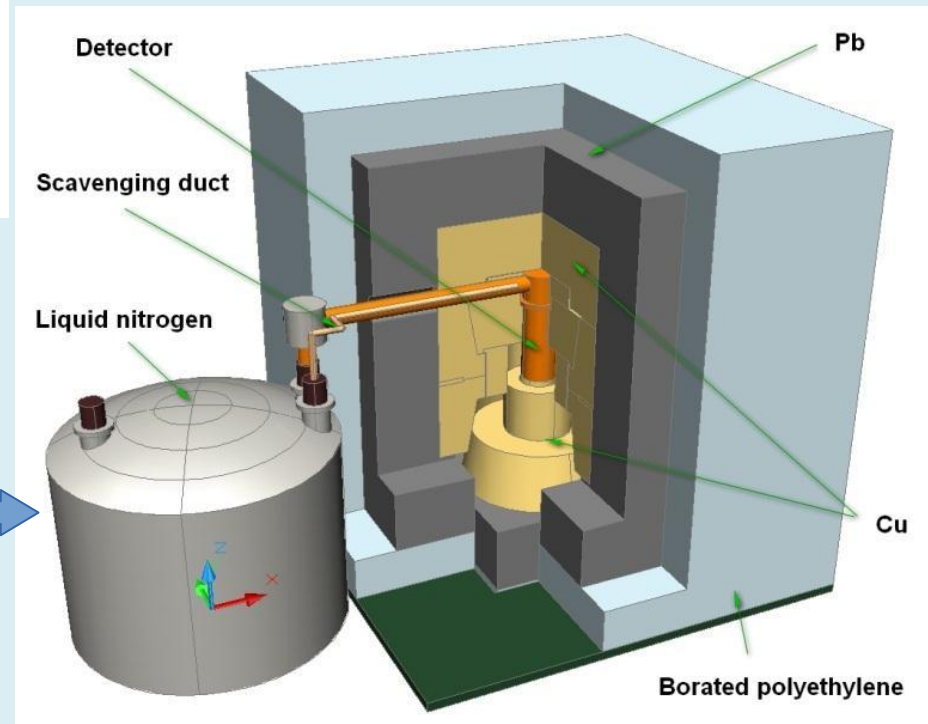
Пассивная защита из

80 мм полиэтилена

1 мм кадмия

150 мм свинца

180 мм меди



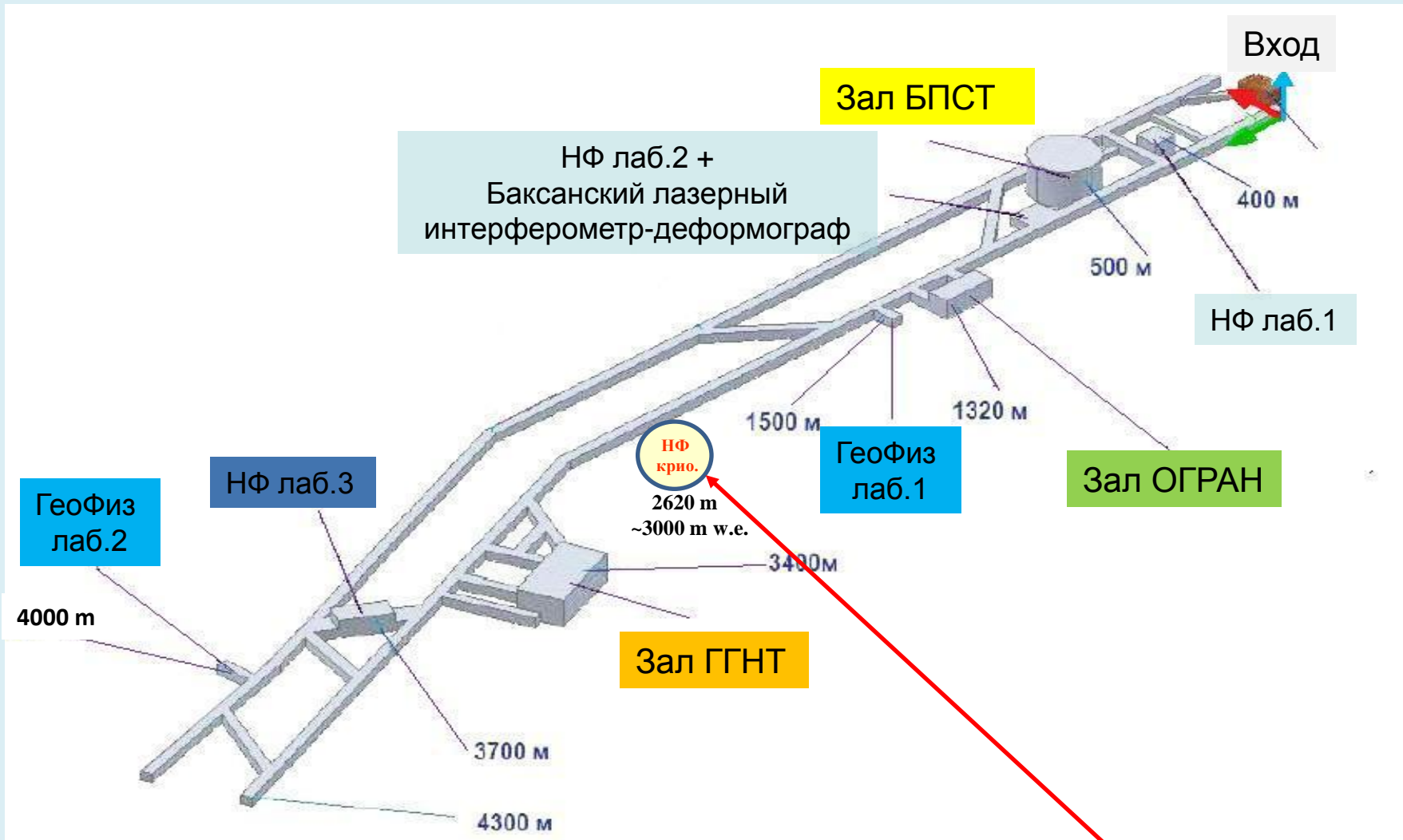
Расширение парка низкофоновых гамма-спектрометров и проведение работ в чистых условиях

- Низкофоновый полупроводниковый детектор из сверхчистого германия с пассивной защитой из меди, свинца и борированного полиэтилена (2 шт.)
- Гамма-спектрометр на основе сцинтиллятора NaI(Tl) со свинцовой защитой и программным обеспечением (2 шт.)
- Комплекс оборудования для чистых и особо чистых помещений (“чистая зона”)

Уникальная установка «Низкофоновая криогенная лаборатория»

С использованием опыта и наработок, полученных в международных коллаборациях, максимально быстро получить компетенции в области проведения криогенных болометрических измерений с детекторами уникальной чувствительности, ныне отсутствующие в Российской Федерации.

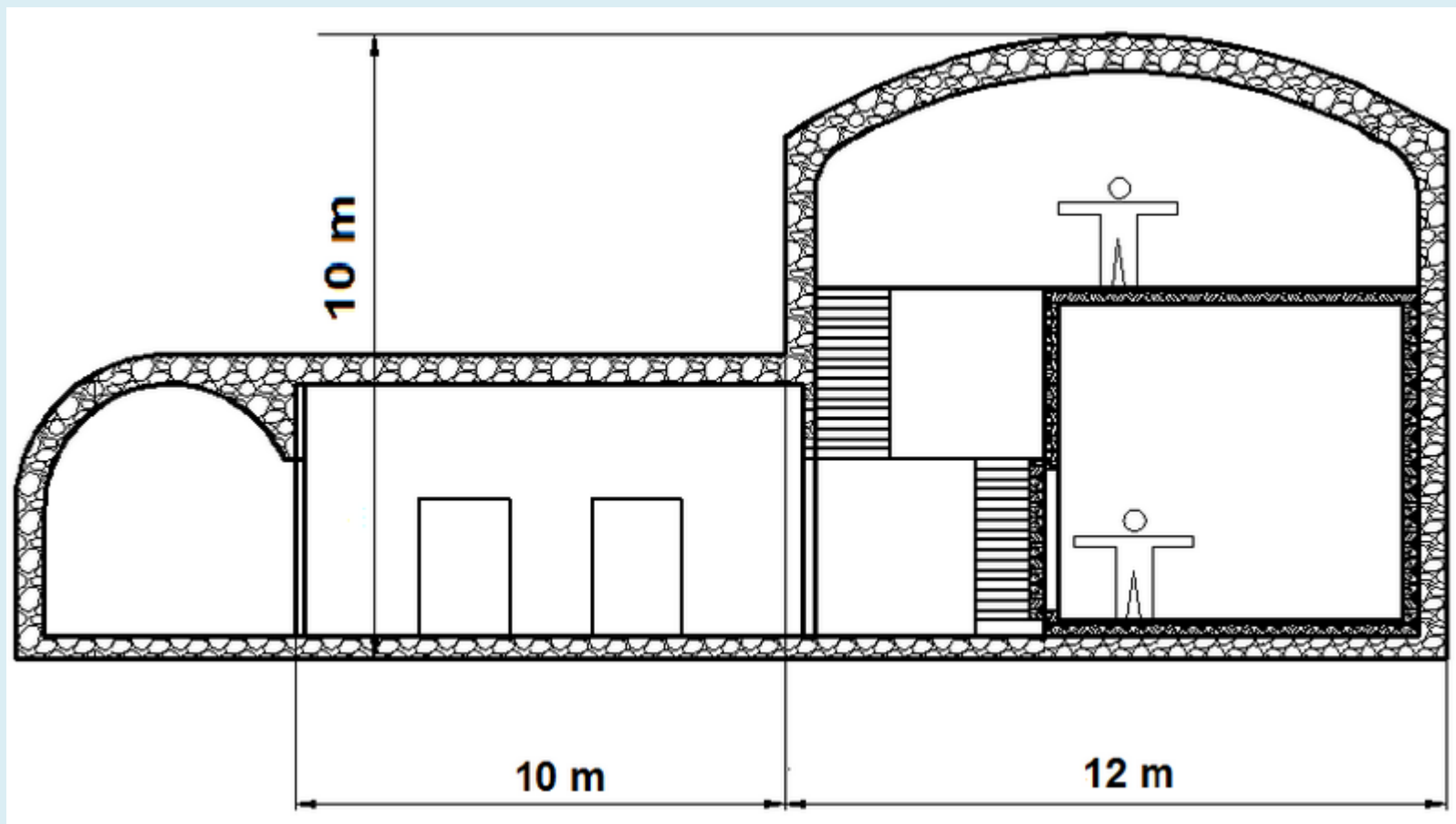
Перспектива → Жидкоаргоновый детектор темной материи



Предполагаемое место для низкофоновой криогенной лаборатории

Например:
 $^{40}\text{Ca}^{100}\text{MoO}_4$ криогенный сцинтилляционный детектор, $T \sim 40 \text{ mK}$
 (коллаборация AMoRE)

Низкофоновые исследования: перспективы.



Предполагаемое место для низкофоновой криогенной лаборатории

Предполагаемое место для низкофоновой криогенной лаборатории



2620 м, ~ 3000 м в.э.



Сцинтилляционный детектор большого объёма (~10 кт) в БНО для для регистрации природных потоков нейтрино низкой энергии (до 100 МэВ).

И.Р. Барабанов и др. Детектор большого объема в Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН по изучению природных потоков нейтрино для целей гео- и астрофизики.
<http://www.inr.ac.ru/~st/geo.html>

1. Изучение потока антинейтрино, излучаемого дочерними продуктами распада урана и тория (геонейтрино), содержащимися внутри Земли, и определение, таким образом, радиогенной составляющей теплового потока Земли;
2. Оценка содержания калия внутри Земли по спектру электронов отдачи от рассеяния нейтрино на электронах (аналогично солнечным нейтрино);
3. Проверка гипотезы о протекании в центре Земли цепной реакции деления путем поиска потока антинейтрино “геореактора”;
4. Изучение динамики взрыва сверхновых путем регистрации интенсивности и спектра нейтринной вспышки;
5. Поиски изотропного потока антинейтрино, накопившихся во Вселенной за миллиарды лет при гравитационных коллапсах ядер массивных звезд и образовании нейтронных звезд и “черных дыр”;
6. Регистрация совокупного потока антинейтрино от всех имеющихся на Земле энергетических ядерных реакторов. Изучение осцилляций электронных антинейтрино;
7. Исследование спектра солнечных нейтрино и поиск нейтрино от реакций CNO.

Counting rate for antineutrinos from nuclear reactors and geoneutrinos at the resumed detector locations

Location	$\langle D \rangle, \text{km}$	$R, \text{TNU, total reactor spectrum}$	$R_G, \text{TNU, reactor spectrum within geoneutrino window}$	$G, \text{TNU, geoneutrino spectrum}$	R_G/G
Baksan	1738.1	38.24	14.37	52.6	0.3
Gran Sasso	1135.8	94.15	35.35	39.8	0.9
Sudbury	605.6	190.74	72.85	49.9	1.4
Pyhasalmi	1184.7	72.97	27.61	52.9	0.5
Hawaii	7720.5	3.44	1.29	15.3	0.1
Kamioka	1675.0	27.79	10.30	31.7	0.3

I. R. Barabanov et al. Large-Volume Detector at the Baksan Neutrino Observatory for Studies of Natural Neutrino Fluxes for Purposes of Geo- and Astrophysics. *Physics of Atomic Nuclei*, 2017, Vol. 80, No. 3, pp. 446–454.

Jinping		27.8	6.8	59.4	0.1
---------	--	------	-----	------	-----

L. Wan et al. Geoneutrinos at Jinping: Flux prediction and oscillation analysis. *Phys. Rev. D* 95, 053001 (2017)

Baksan Large Volume Scintillation Telescope

A large volume detector filled with liquid scintillator at the Baksan neutrino observatory is discussed during many years. The main research directions of the BLVST are neutrino geophysics and neutrino astrophysics.

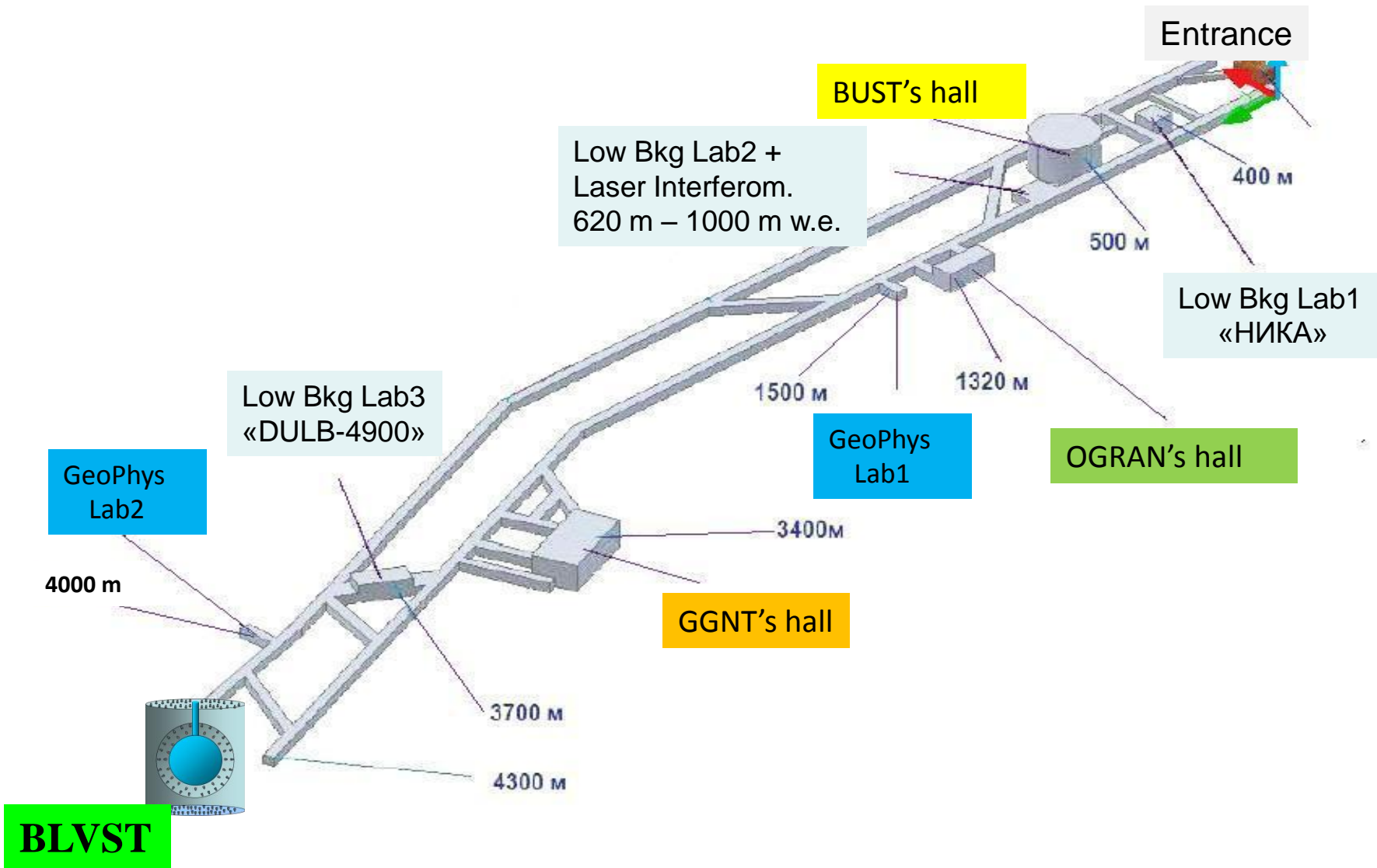
Estimation of target mass of future detector is changed over time:

1 kton target mass of LS: *G.V. Domogatsky et al., Phys.Atom.Nucl., 68, 69, 2005.*

5 kton target mass of LS: *G.V. Domogatsky et al., Phys.Atom.Nucl., 70, 1081, 2007;*

10 kton target mass of LS: *I.R. Barabanov et al., Physics of Atomic Nuclei, 2017, Vol. 80, No. 3, pp. 446–454.*

At present a complex of research and development aimed at the creation of a new-generation scintillation detector using an extra-pure scintillator of 10 kiloton mass is performed.



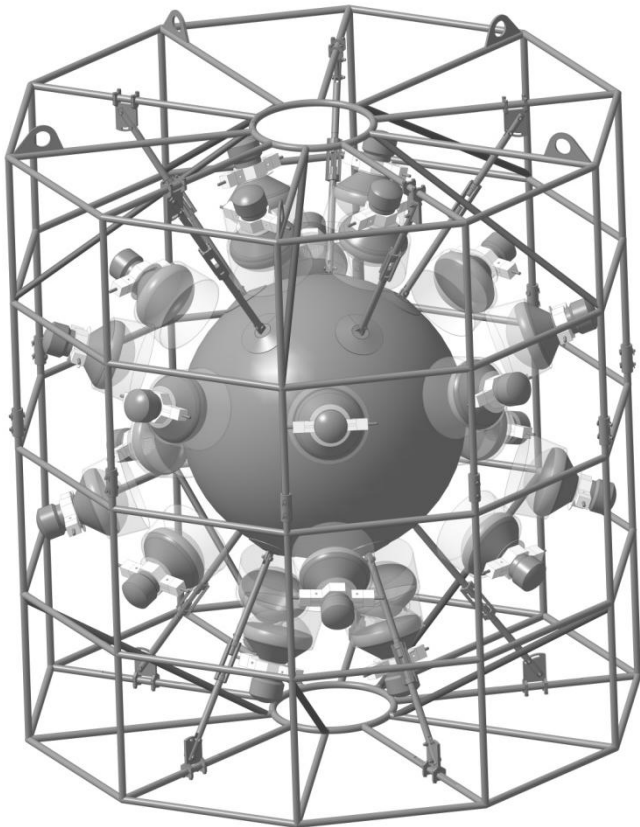
Underground Laboratories of the BNO INR RAS

First prototype:

0.5 t of LAB-based liquid organic scintillator in a acrylic sphere.

Structurally, the prototype of the scintillation detector consists of an external cylindrical tank and the inner part, including the acrylic sphere and stainless steel construction, which are attached photodetectors, and which provides additional fixation of acrylic sphere.

An array of 20 10-inch Hamamatsu R7081-100 PMTs surrounds the acrylic sphere.



The acrylic sphere: inner diameter of 960 mm.

First prototype.

The external tank is a polypropylene cylinder with an inner diameter of 2400 mm (wall thickness of 20 mm) and 2800 mm high. To fill the tank with ultrapure water, a piping system was installed connecting the housing with water purification system.

The prototype is installed in the hall of the GGNT (4800 m.w.e.)



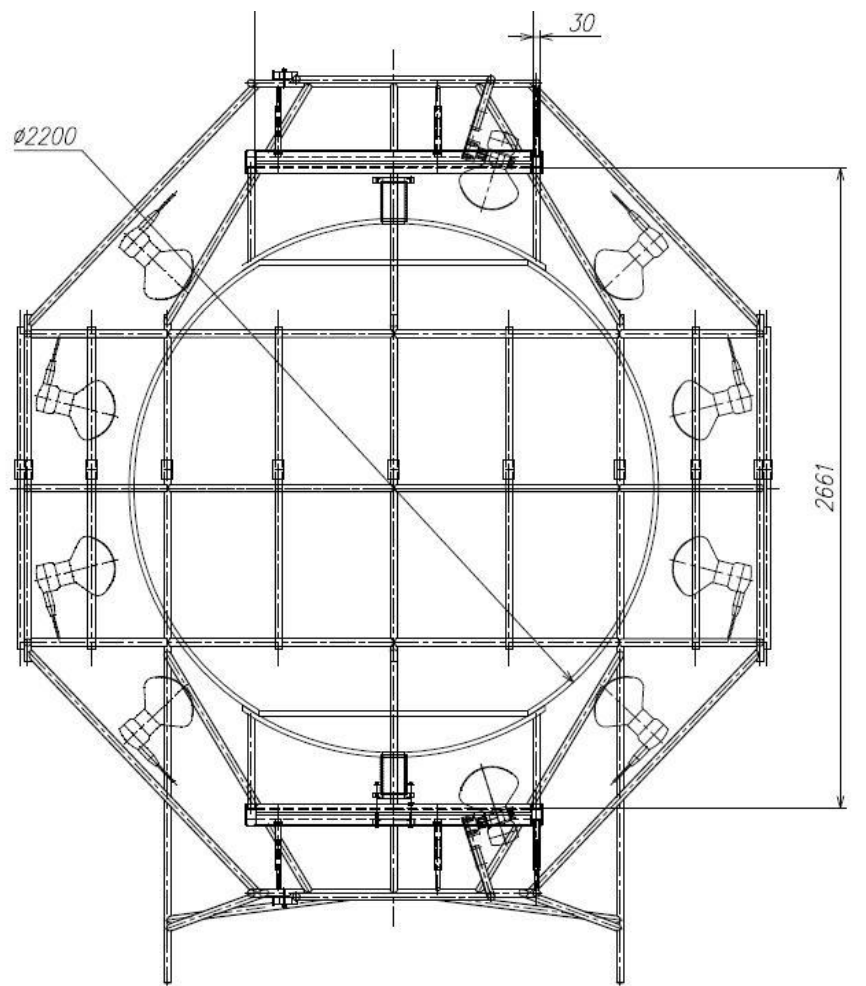
Water purification system



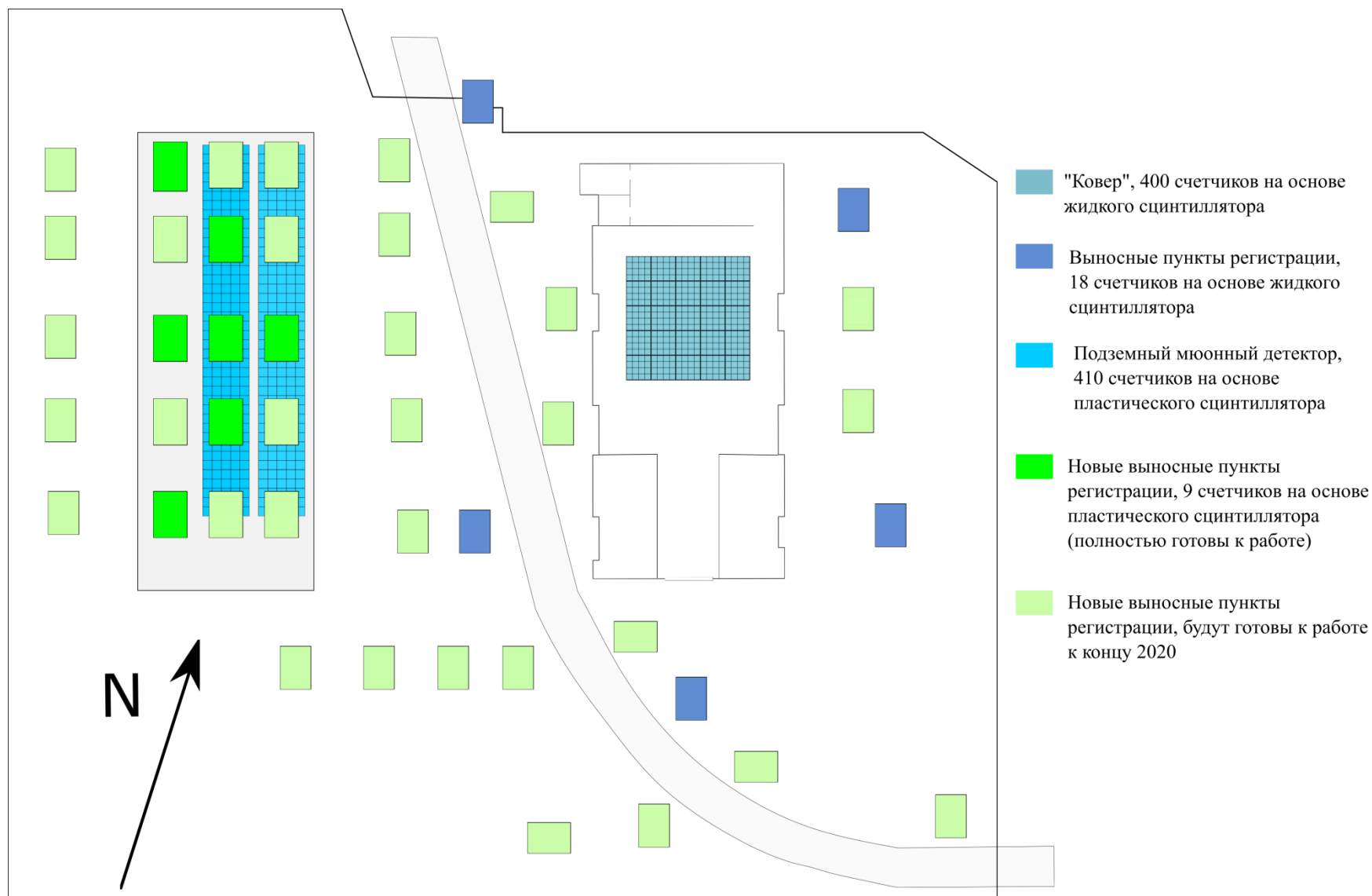
External tank from polypropylene

Второй прототип:

5 т сцинтиллятора, акриловая сфера диаметром 2200 мм, 70 ФЭУ



Ковёр-3



Ковёр-3





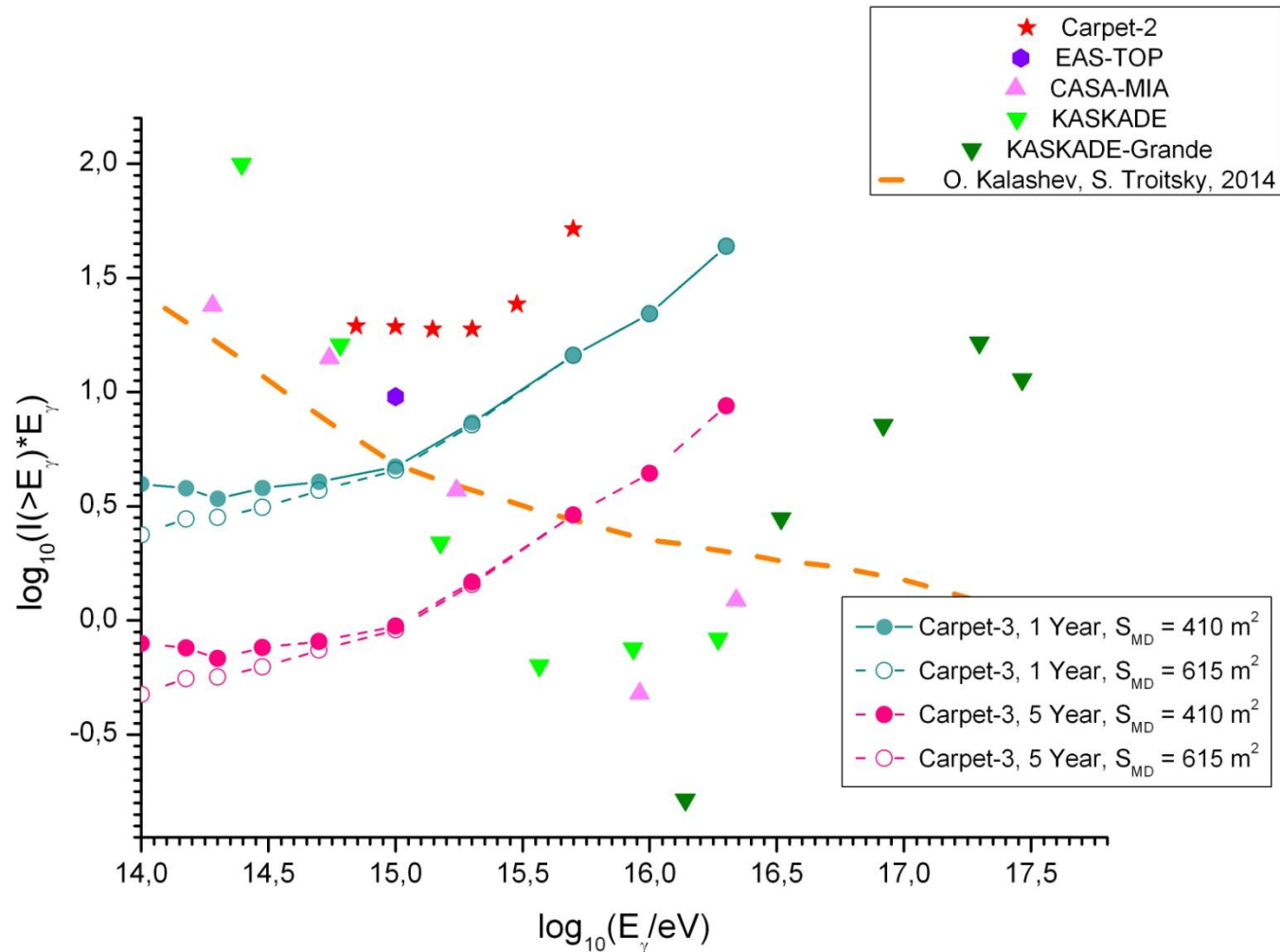
Ковёр-3: 1-й тоннель мюонного детектора



Постер, ПКЛ-2: В.С. Романенко

Эксперимент «Ковёр-3»: поиск гамма – излучения сверхвысокой энергии от астрофизических объектов

Carpet-3 sensitivity to the flux of diffuse cosmic gamma rays



Заключение

1. Эксперимент BEST – проведены измерения (2019 -2020), идет обработка и интерпретация данных.
2. Ливневая установка “Ковёр-3”: продолжаются работы по расширению наземной части. Набор информации - с 2021 года.
3. Сцинтилляционный детектор большого объёма: создан 1-й прототип (0.5 т), ведутся работы по созданию 2-го прототипа (5 т).
4. Проведено расширение парка гамма-спектрометров для низкофоновых измерений.
5. Работа по созданию проекта уникальной установки «Низкофоновая криогенная лаборатория»

Работы по развитию БНО поддержаны грантом Министерства науки и высшего образования РФ
«Поддержка и развитие Центра коллективного пользования Баксанская нейтринная обсерватория научным оборудованием для обеспечения реализации исследовательских программ и проектов по перспективным научным направлениям»
(Уникальный идентификатор проекта RFMEFI62119X0025)

A wide-angle landscape photograph of a mountain range. The foreground shows a rocky, brownish slope with patches of snow. In the middle ground, a valley with green fields and a small town is visible. The background features towering, rugged mountains with significant snow cover under a blue sky with scattered white clouds.

Спасибо за внимание!