

Баксанская нейтринная обсерватория. Современное состояние и перспективы развития.

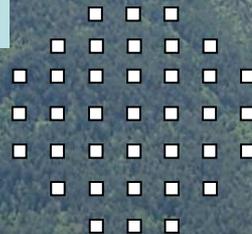
В.Б. Петков

Институт ядерных исследований РАН,
Баксанская нейтринная обсерватория

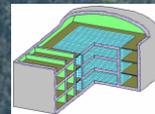
Баксанская нейтринная обсерватория ИЯИ РАН:

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

“Андырчи”



БПСТ

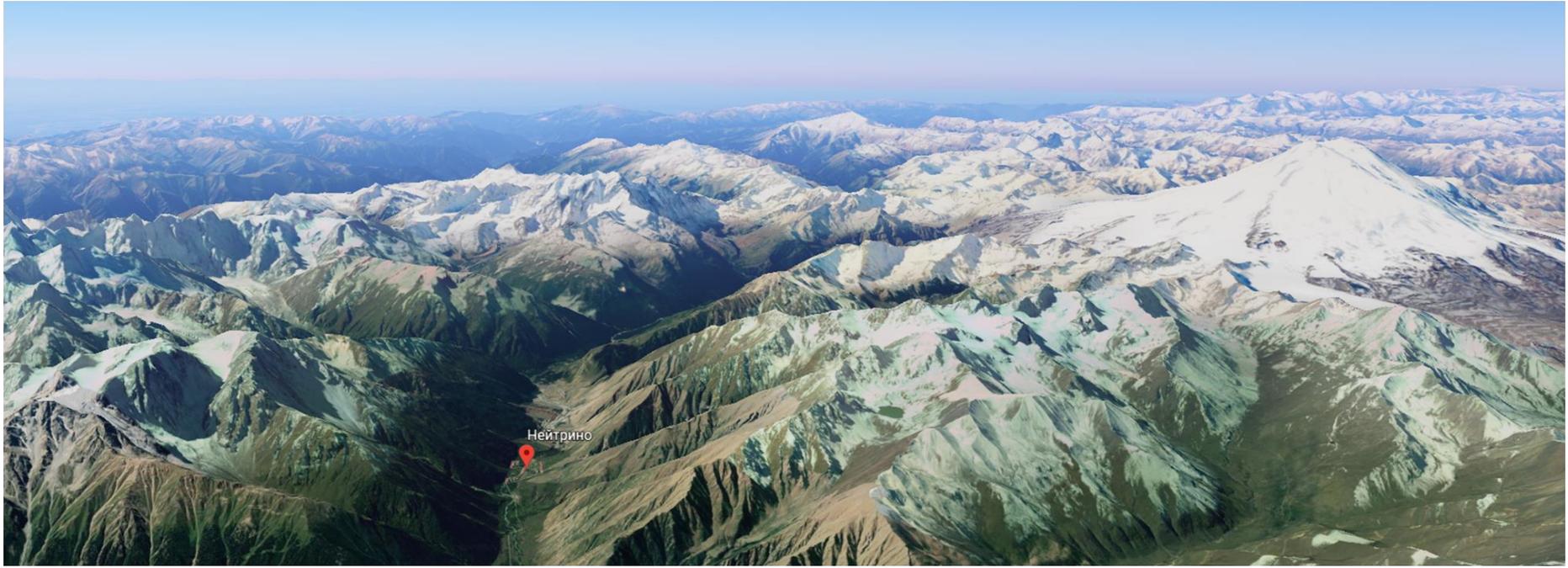


“Ковёр-3”

Вход в тоннель



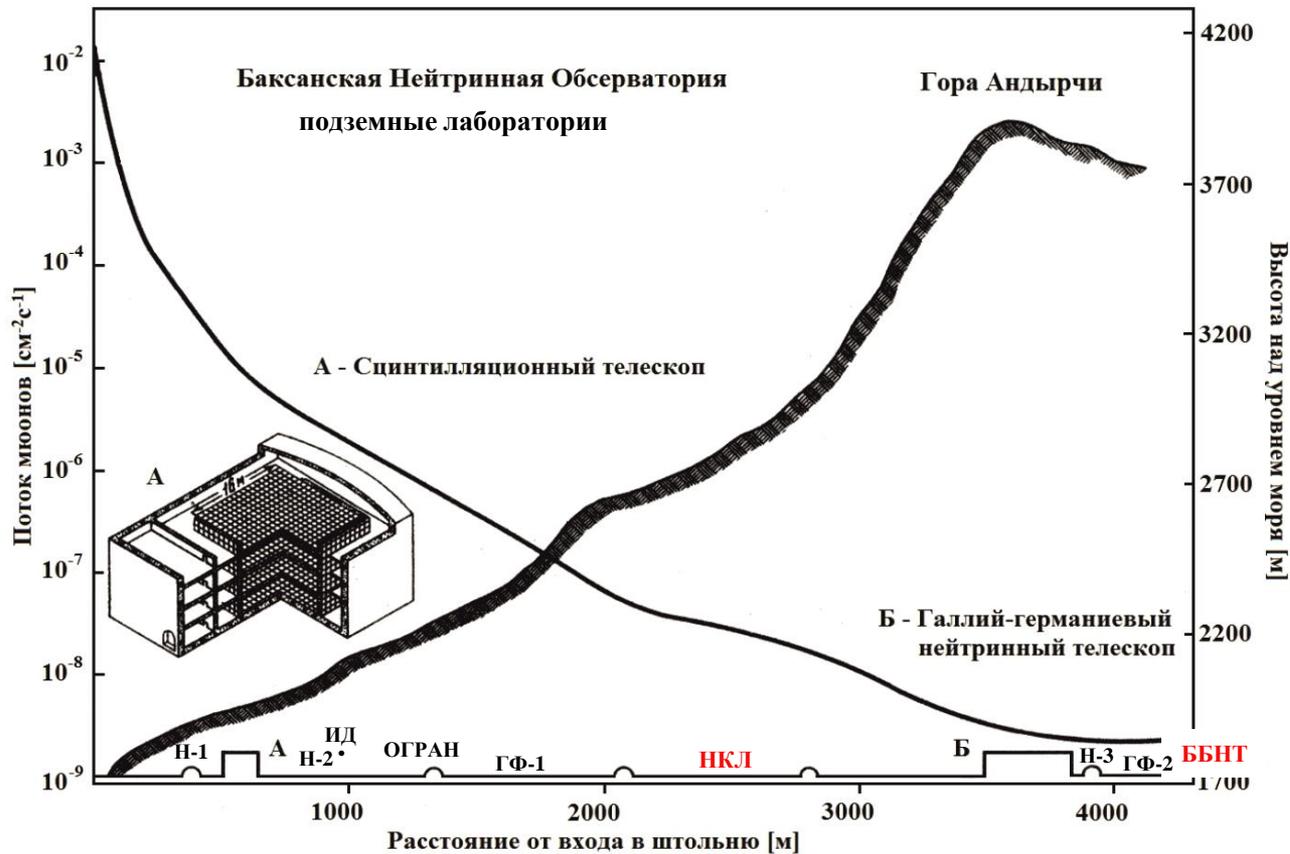
**Расположение БНО:
Баксанское ущелье, недалеко (~ 20 км) от горы Эльбрус**



**Большой баксанский нейтринный телескоп (ББНТ):
удаленность от ядерных реакторов.**

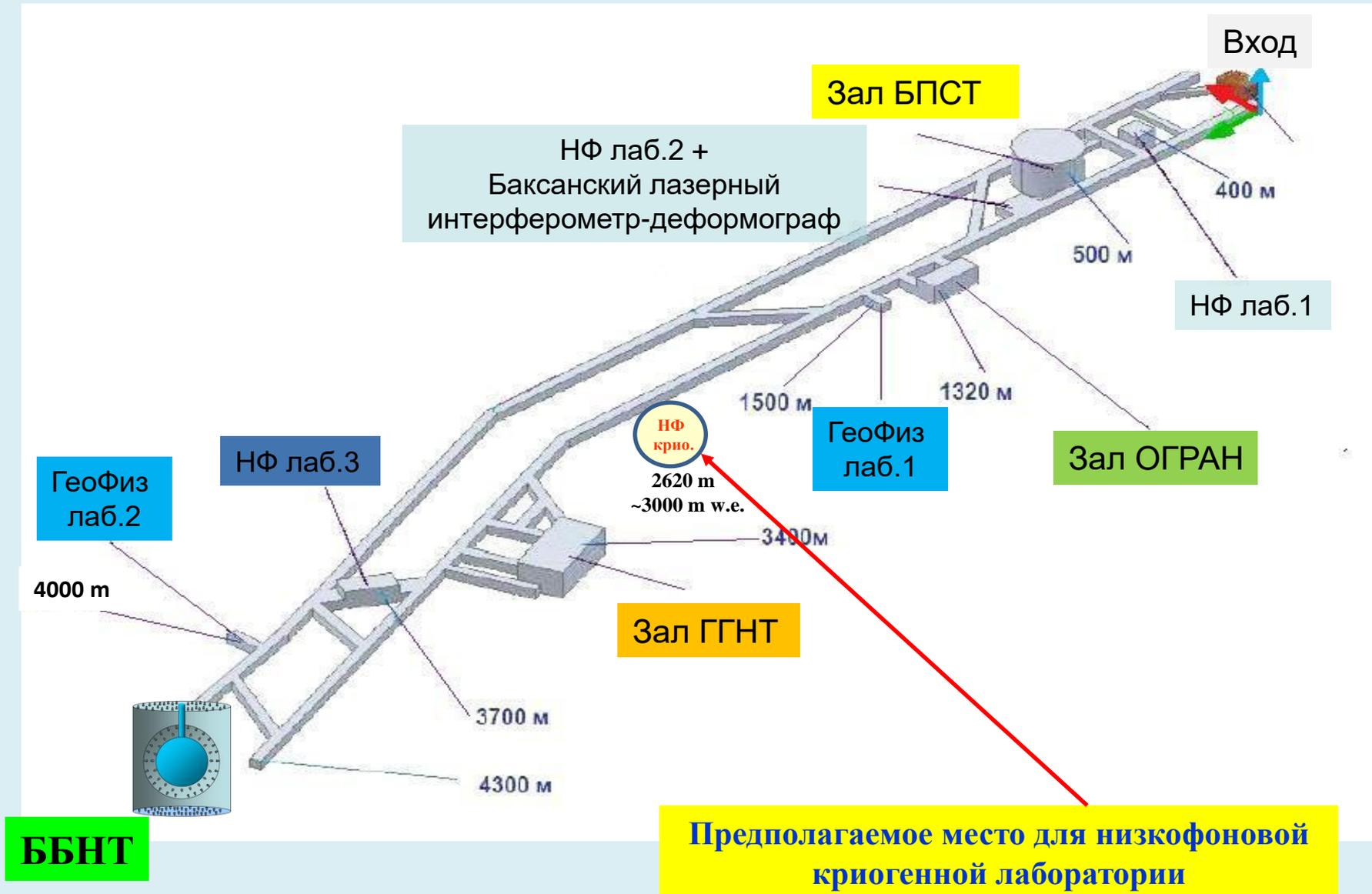
**Одна из геофизических задач.
Мониторинг региональной геодинамики Приэльбрусья
с целью оценки рисков возможных природных катастроф.**

Баксанская нейтринная обсерватория ИЯИ РАН: подземные лаборатории.

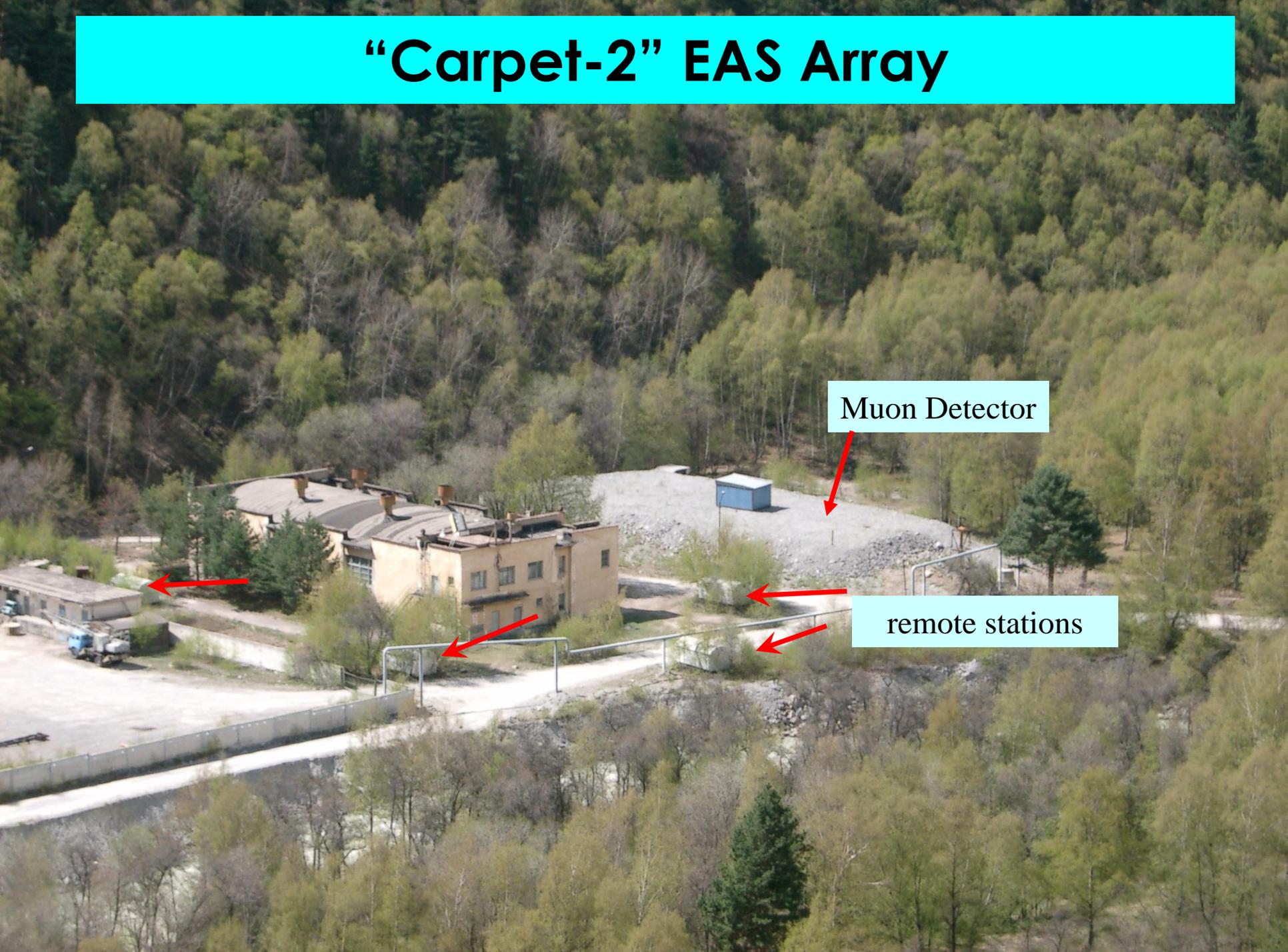


- А — Баксанский подземный сцинтилляционный телескоп
- Б — Галлий-германиевый нейтринный телескоп
- Н-1 — низкофоновая лаборатория № 1
- Н-2 — низкофоновая лаборатория № 2
- Н-3 — низкофоновая лаборатория № 3
- ИД — Баксанский лазерный интерферометр-деформограф
- ОГРАН — опто-акустическая гравитационная антенна
- ГФ-1 — геофизическая лаборатория № 1
- ГФ-2 — геофизическая лаборатория № 2
- НКЛ — низкофоновая криогенная лаборатория (проект)**
- ББНТ — Баксанский большой нейтринный телескоп (проект)**

Распределение интенсивности мюонов вдоль штольни



“Carpet-2” EAS Array



Muon Detector

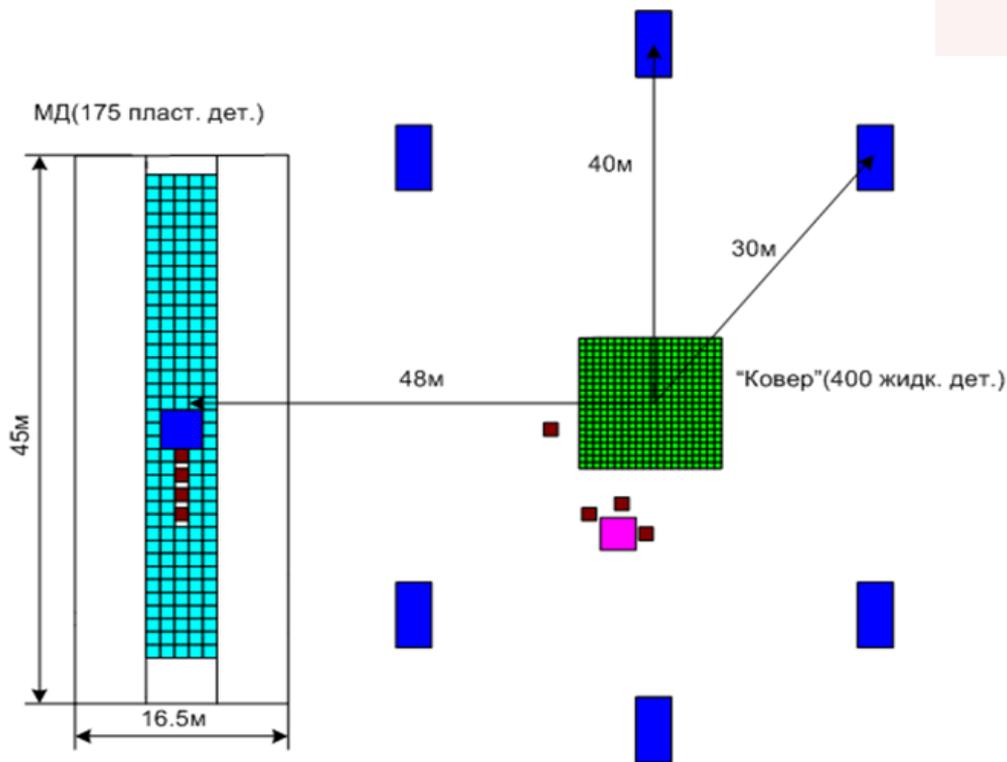
remote stations

Ковёр-2: 1999

1700 м над уровнем моря
840 г/см²

Ковёр: 1973 год

Изучение структуры центральной области и спектра центральных плотностей ШАЛ с $N_e = 10^4 - 10^6$.
Изучение многоствольных ШАЛ с большими поперечными импульсами



Гамма-астрономия сверхвысоких энергий:

- Наблюдение возможной вспышки гамма-излучения сверхвысоких энергий в источнике Лебедь X-3
- Наблюдение вспышки в Крабовидной туманности

- Изучение вариаций интенсивности космических лучей и анизотропии ПКЛ с $E_0 > 10^{13}$ эВ.
- Исследование вариаций вторичных космических лучей под действием электрического поля атмосферы.

Суточная волна приземного электрического поля «хорошей погоды» в условиях гор и её влияние на интенсивность мюонов.

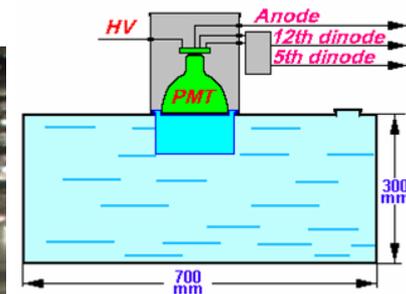
Н.С. Хаердинов, ГЕО #122, 1 июля

Установка «Ковёр-2»

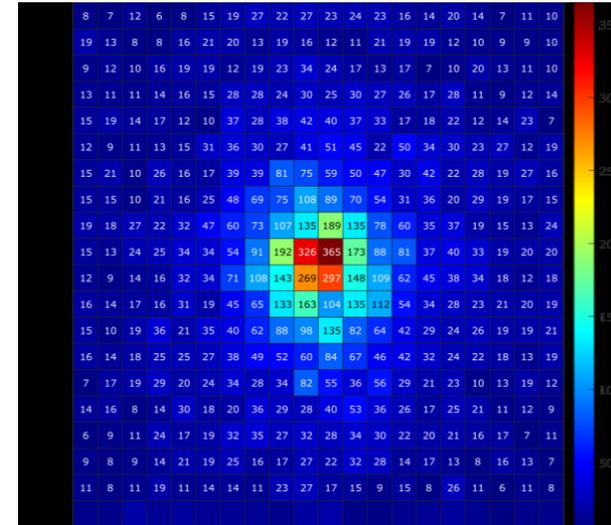
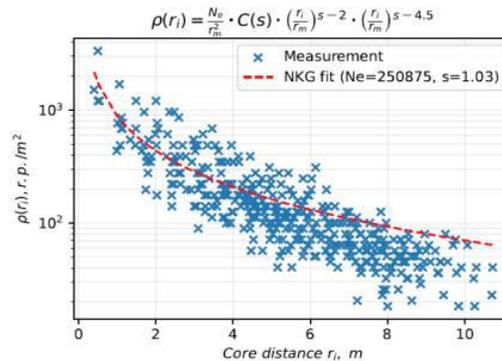
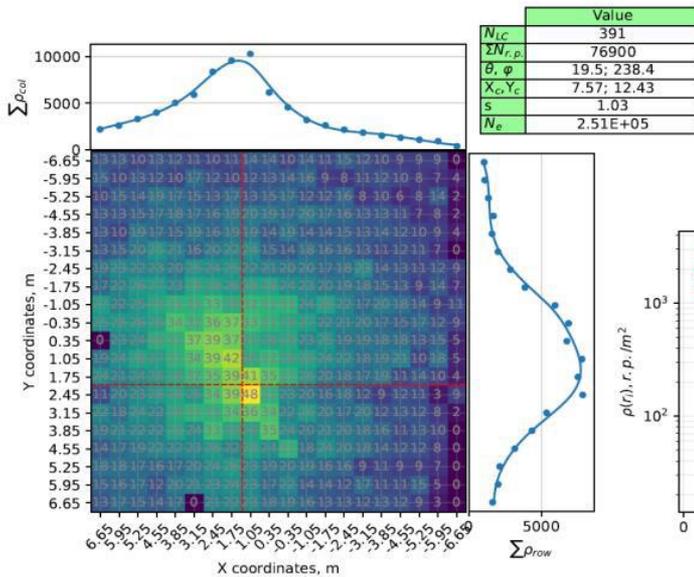
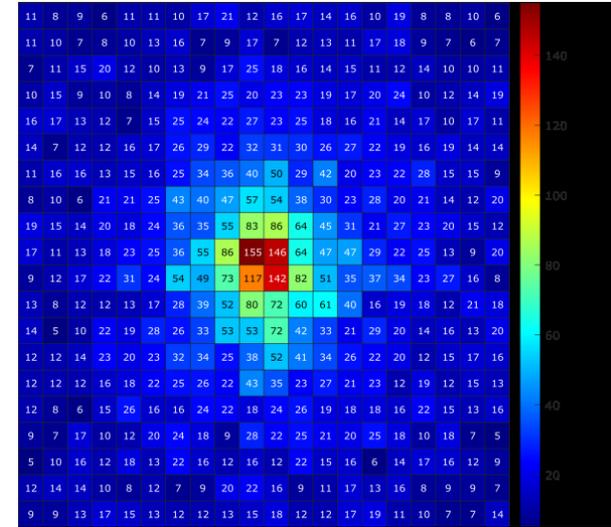
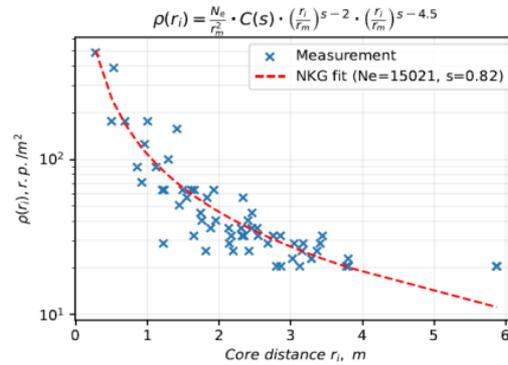
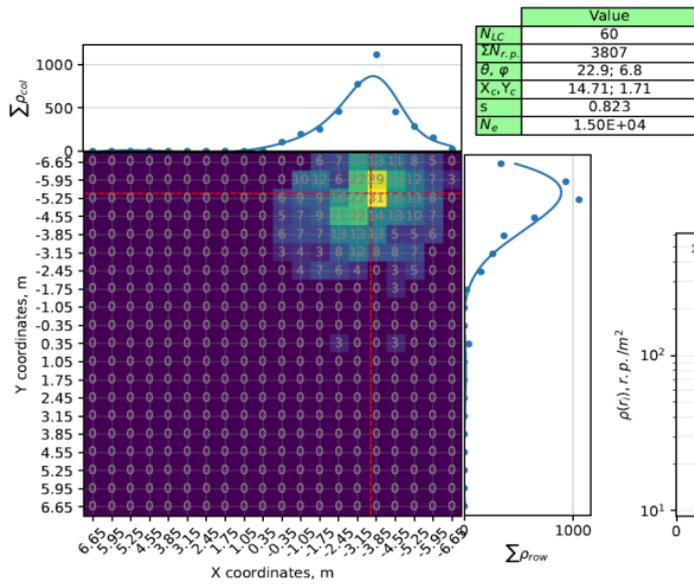
■ - выносной пункт, ■ - жидкостный детектор, ■ - нейтронный монитор,
■ - детектор тепловых нейтронов, ■ - пластический сцинтилляционный детектор.

Ковёр:

400 жидкосцинтилляционных счетчиков, непрерывная площадь 196 м²,
6 выносных пунктов: по 18 таких же счетчиков (≈ 9 м²)



Моделирование: фотон с энергией 300 ТэВ.



Разработка нового метода реконструкции ШАЛ на установке «Ковер-2» БНО ИЯИ РАН

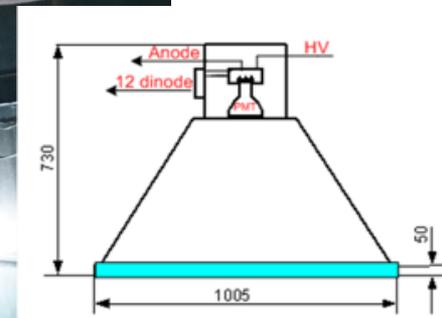
В.С. Романенко, Постерная сессия, ПКЛ-2 #88

Подземный мюонный детектор

1 ГэВ – пороговая энергия для вертикальных мюонов

Счетчики на основе пластического сцинтиллятора, 1 м²

175 счетчиков (в центральном тоннеле) → 410 счетчиков (два тоннеля)



Ковёр-2. Исследования в области гамма-астрономии.

Поиск изотропного диффузного гамма-излучения в ПэВ-й области энергий
(измерение верхнего предела).

Известия РАН. Сер. физ., 2019, т. 83, № 8, с. 1038–1041. JETP Lett. 117, 184–188 (2023).

Поиск первичных фотонов с энергией выше 1 ПэВ, связанных по направлению с нейтрино высоких энергий, зарегистрированных нейтринным телескопом IceCube.

Поиск фотонов с энергиями в диапазоне от 100 ТэВ до нескольких ПэВ, приходящих в совпадении по направлению и времени с алертами от НАВС (ТэВ – гамма-лучи) и IceCube (нейтрино выше ~ 100 ТэВ).

JETP Letters, 2019, Vol. 109, No. 4, pp. 226–231. JETP Letters, 2020, Vol. 112, No. 12, pp. 753–756.

Наблюдение фотонов с энергией выше 300 ТэВ из области Кокона Лебеда, связанных с нейтрино высокой энергии (IceCube-201120A: 20 ноября 2020 года, 154 ТэВ).

The Astrophysical Journal Letters, V. 916, Number 2, L22, 2021.

Регистрация высокоэнергетического (~ 240 ТэВ) фотоподобного события, ассоциированного с гамма всплеском GRB221009A.

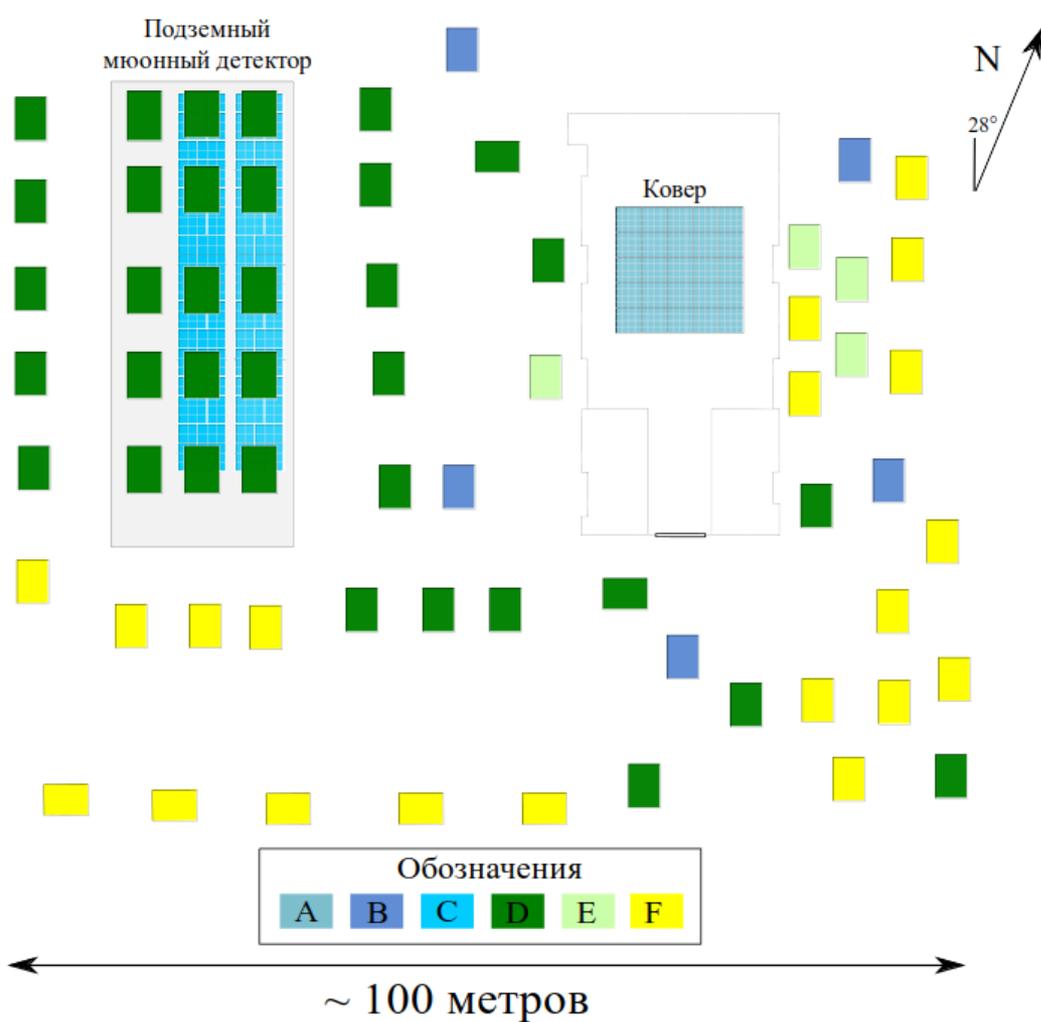
Astronomer's Telegram 15669 (2022).

***Реконструкция параметров высокоэнергетического события установки «Ковёр-2»
ассоциированного с гамма всплеском GRB221009A***

И.С. Карпиков, ПКЛ-2, 3 июля, 12:00

Изучение транзиентных астрофизических объектов:
даже при наличии крупных установок, подобных LHAASO, небольшие установки
размеров Ковра-3, удаленные по географической долготе, могут дать важные результаты.

Ковёр-3



Эффективная площадь регистрации гамма-квантов с энергией выше 100 ТэВ $\sim 10^4$ м².
Угловое разрешение $\sim 1^\circ$
 $E_0 \geq 30$ ТэВ

Схема установки Ковёр-3.

- (A) - установка Ковёр; (B) – “старые” выносные пункты (5);
(C) - подземный мюонный детектор, 410 счетчиков на основе пластического сцинтиллятора;
Новые выносные пункты регистрации на основе пластического сцинтиллятора:
(D) – счетчики установлены и подключены (35), (E) – в стадии укомплектования (4),
(F) — планируемые (20).

Ковёр-3: Новые выносные пункты регистрации над мюонным детектором



Выносной пункт регистрации, 9 м²



Ковёр-3

Измерение характеристик высокоэнергичного гамма-излучения
космического происхождения

Поиск фотонов с энергией ≥ 100 ТэВ от транзитных астрофизических объектов,
в том числе по алертам от международной сети AMON/GCN.

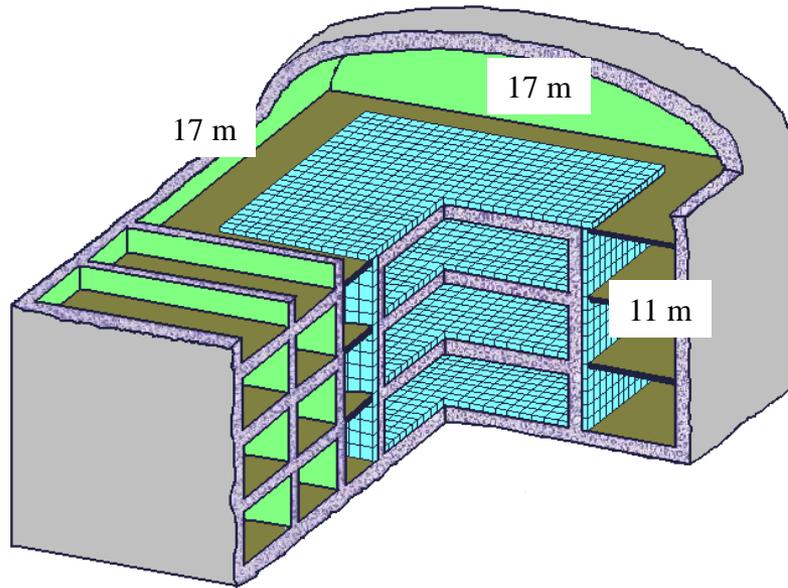
Поиск высокоэнергичного космического гамма-излучения
от областей локализации нейтрино высокой энергии, зарегистрированных
нейтринными телескопами IceCube и Baikal-GVD.

Поиск высокоэнергичного излучения от областей локализации гравитационно-
волновых событий и космических гамма-всплесков.

Измерение потока и анизотропии диффузного космического гамма-излучения с
энергией выше 100 ТэВ.

Изучение спектра, массового состава и анизотропии космических лучей в
диапазоне энергий от 100 ТэВ до 10^4 ТэВ.

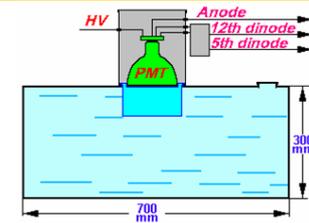
Баксанский подземный сцинтилляционный телескоп (БПСТ): универсальный детектор для исследований в области физики космических лучей и нейтринной астрофизики.



scintillation layer + concrete overlap:
 $7.2 \text{ r.l.} = 165 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$

$$(E_{\text{th}})_{\text{eff}} = 0.22 \text{ TeV}$$

$$h_{\text{eff}} = 850 \text{ hg/cm}^2$$



- ✓ сцинтиллятор C_nH_{2n+2} ($n \approx 9$)
- ✓ полная масса сцинтиллятора: 330 т
- ✓ 3180 сцинтилляционных счетчиков

counter's threshold:
inner planes – 8 MeV
outer planes – 10 MeV

- Регистрация нейтринного сигнала от сверхновой 1987А.
- Исследование спектра, массового состава и анизотропии первичного космического излучения в диапазоне энергий $10^{13} - 10^{17}$ эВ
- Изучение взаимодействий мюонов высоких энергий.
- Изучение вариаций интенсивности космических лучей.

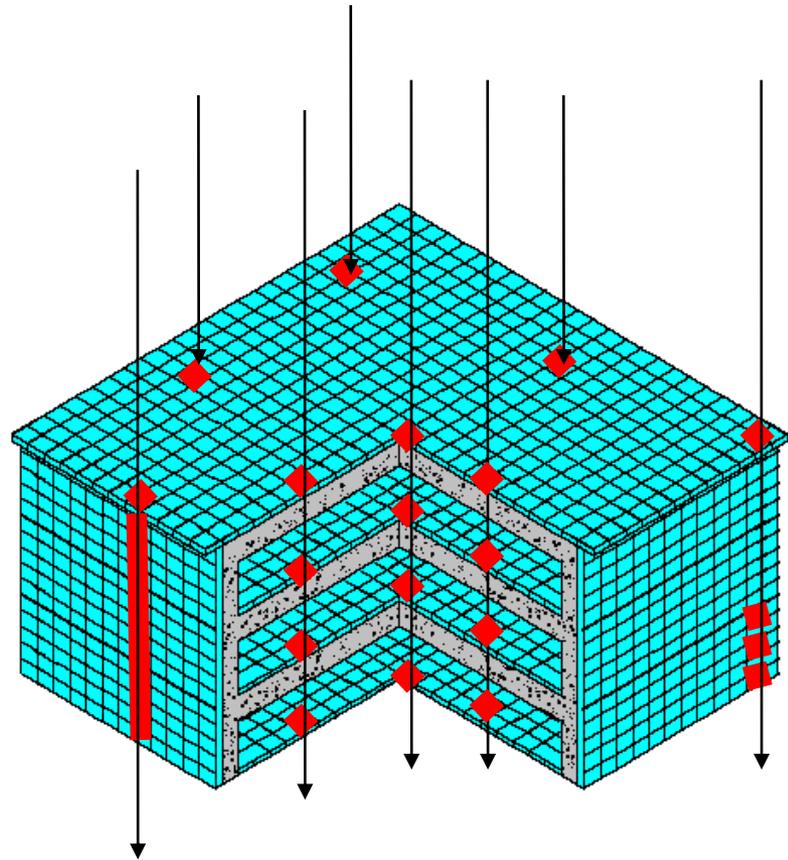
Зарядовый состав мюонов по данным Баксанского подземного сцинтилляционного телескопа
М. М. Кочкаров, МН, постер, #114

$$E_{\mu} \geq E_{\text{th}}(\mathbf{x})$$
$$\mathbf{x} = \mathbf{x}(\theta, \varphi)$$

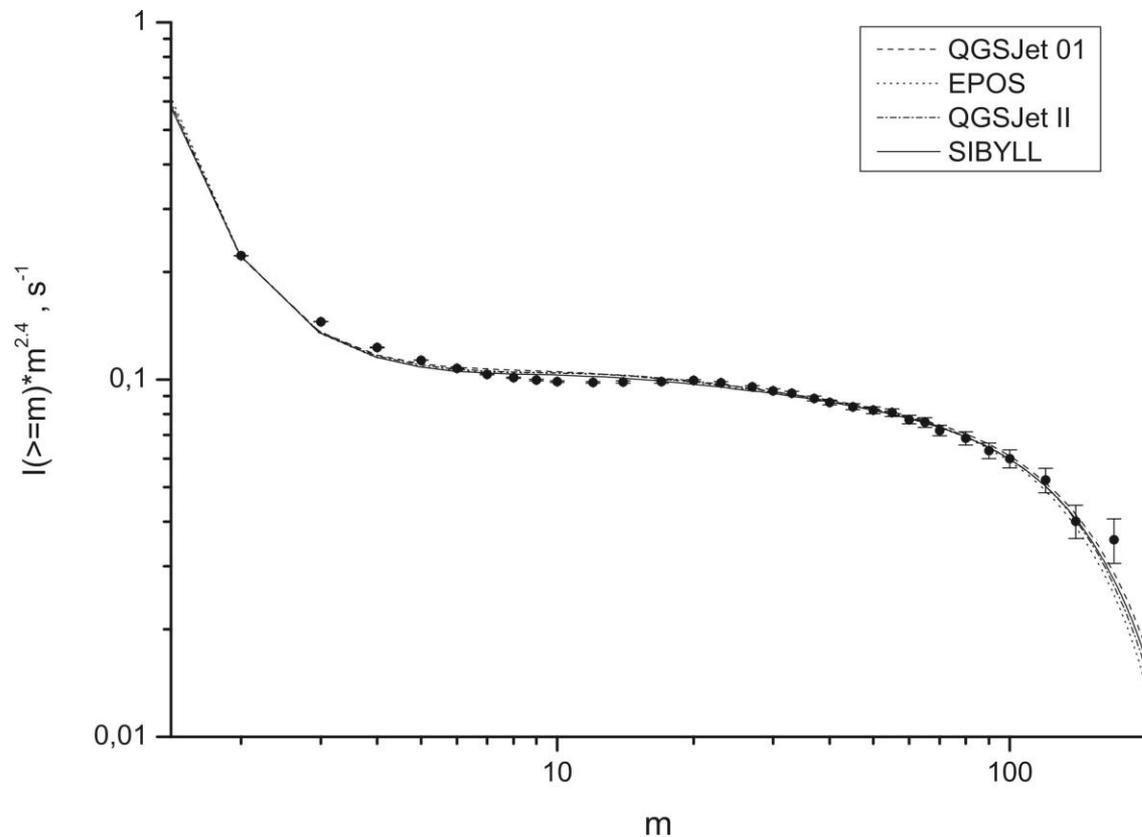
Muon group

$$N_{\mu} \sim A^{(1-\delta)}, \delta \approx 0.75$$

$$N_{\mu}(\text{Fe}) \approx 2.7 N_{\mu}(\text{p})$$



Интегральный спектр по числу мюонных траекторий в БПСТ “Лёгкий” первичный состав



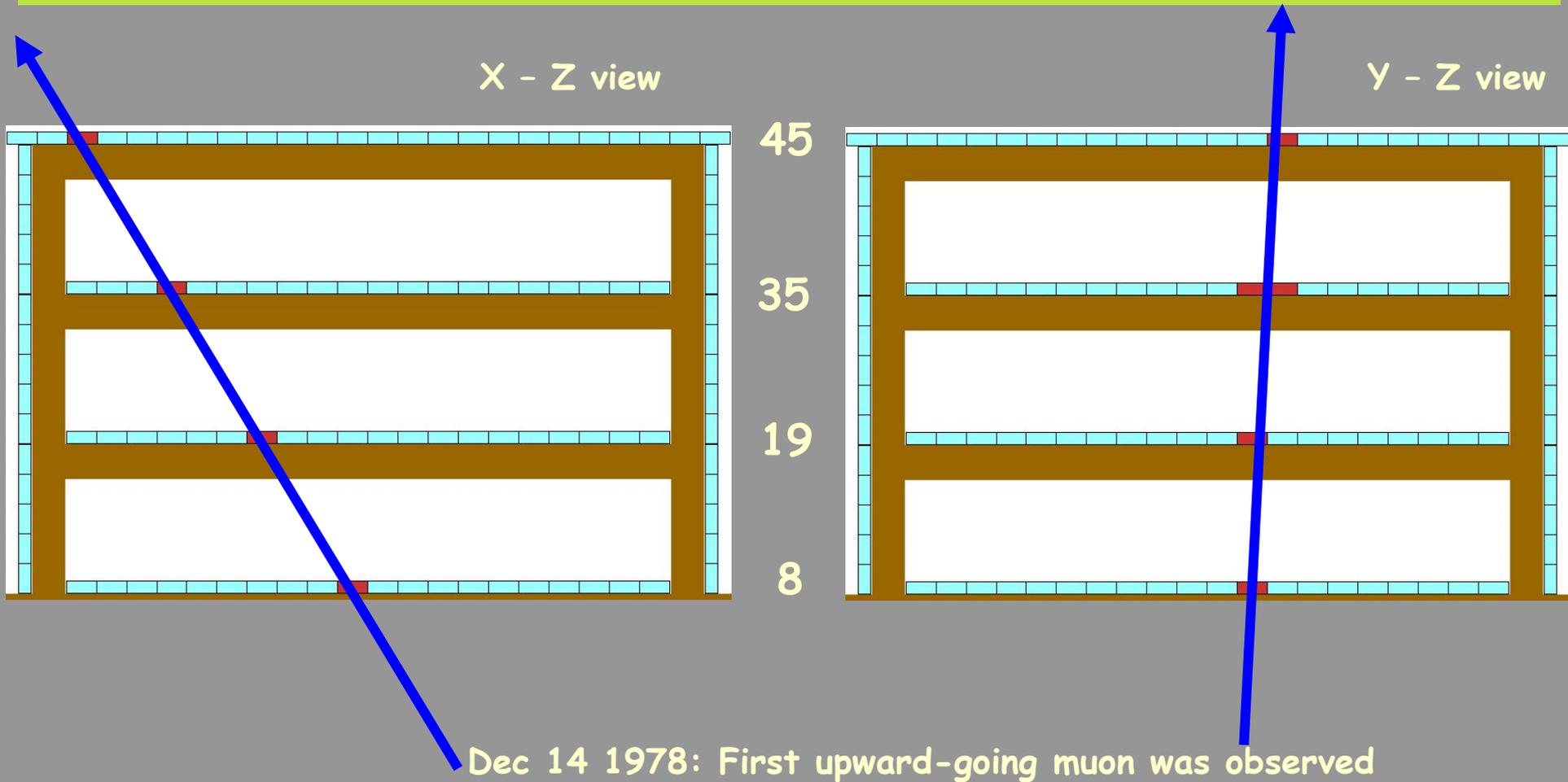
$$E_k(Z) = E_k(p) * Z$$
$$E_k(p) = 2.0 * 10^{15} \text{ eV}$$

Баксанский подземный сцинтилляционный телескоп

1. Поиск на БПСТ мюонных нейтрино/антинейтрино с энергией ≥ 1 ГэВ от транзиентных астрофизических объектов.
2. Мониторинг нейтринных вспышек в Галактике (Сверхновые с коллапсом ядра).

Muon neutrinos traveling through the rock may interact with nucleons to create energetic muons: $\nu_\mu + \text{N} \rightarrow \mu + \text{X}$

Separation of arrival directions between up and down hemispheres is made by time-of-flight method



Поиск на БПСТ мюонных нейтрино/ антинейтрино с энергией ≥ 1 ГэВ от транзистентных астрофизических объектов.

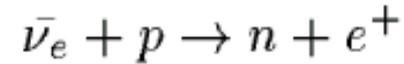
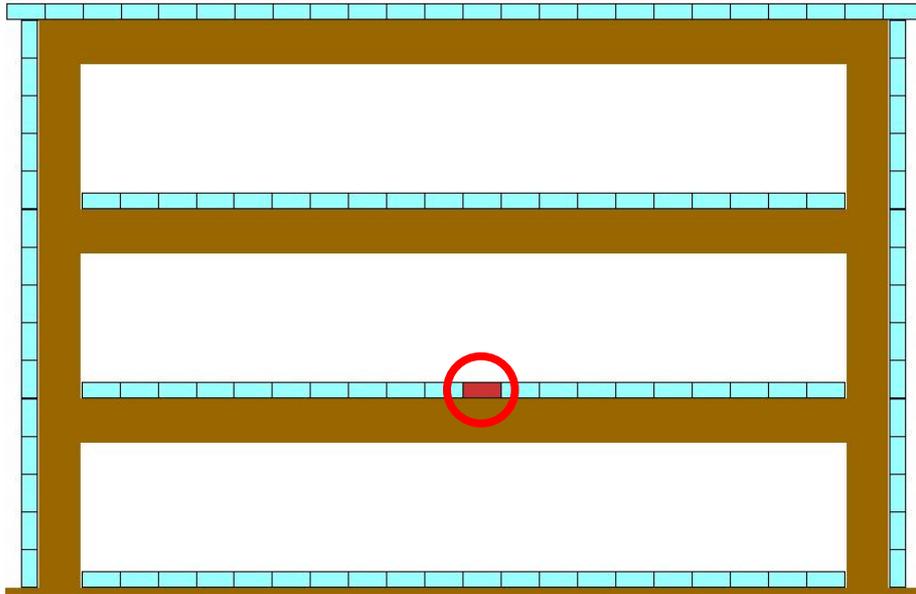
Регистрации мюонных нейтрино и антинейтрино с пороговой энергией 1 ГэВ из нижней полусферы: за весь период наблюдения с декабря 1978 года по 31.05.2024 зарегистрировано 1973 нейтринных событий (чистое время > 37 лет).

- Поиск совпадений нейтринных событий из нижней полусферы с кандидатами на гравитационно-волновые события LIGO-Virgo-KAGRA: за всё время наблюдений не было обнаружено ни одного совпадения.
- На БПСТ 4 декабря 2021 г. было обнаружено нейтрино из области PKS 0735+17. Событие совпало с гамма-вспышкой, наблюдаемой FermiLAT, и примерно на 4 дня предшествовало одновременному обнаружению в области PKS 0735+17 двух редких высокоэнергетических нейтринных событий: IceCube (172 ТэВ) и Baikal-GVD (43 ТэВ).

Поиск нейтринных событий на Баксанском подземном сцинтилляционном телескопе в совпадении с гамма-всплесками.

И. Б. Унатлоков, МН, 3 июля, 15:45

Эксперимент по поиску нейтринных всплесков на БПСТ



~ 88%

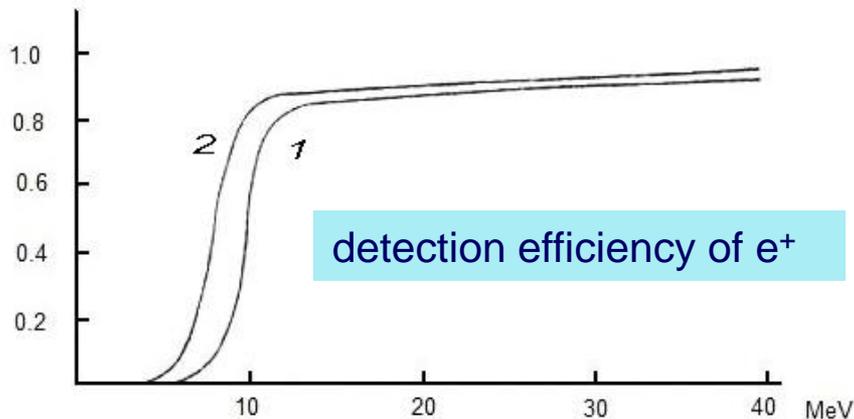
$$E_{th} = 1.8 \text{ MeV}$$

$$E_{e^+} = E_{\bar{\nu}_e} - 1.3 \text{ MeV}$$

$$E_{e^+} \geq 8 \text{ MeV}$$

$$\langle E_{\bar{\nu}_e} \rangle = 12 - 15 \text{ MeV}$$

→ ranges of e^+ of path lengths basically is within individual scintillation counter



1 – energy threshold 10 MeV (1989 -1991 yr)

2 – energy threshold 8 MeV (since 1992 yr)

→ neutrino signal from SN is series of single events during the burst

Эксперимент по поиску нейтринных всплесков на БПСТ

В качестве мишени мы используем два массива счетчиков БПСТ (детекторы D1 и D2) с общей массой 240 тонн. Совместная работа детекторов D1 и D2 позволяет увеличить число детектируемых нейтринных событий и надежность детектирования нейтринной вспышки.

Ожидается ≈ 10 нейтринных событий от наиболее удаленных СН (≈ 25 кпк) в нашей Галактике.

Фоновые события:

- (1) распады космогенных изотопов и
- (2) мюоны КЛ, если сработал только один счетчик из 3180

Фон одиночных мюонов на Баксанском подземном сцинтилляционном телескопе
М. М. Кочкаров, МН, 4 июля, 10:15

За период с 30.06.1980. по 07.12.2023 время наблюдения составило 37.65 года. Это наибольшее время наблюдения за Галактикой на одной и той же установке. За это время не было зарегистрировано ни одного события - кандидата на нейтринную вспышку.

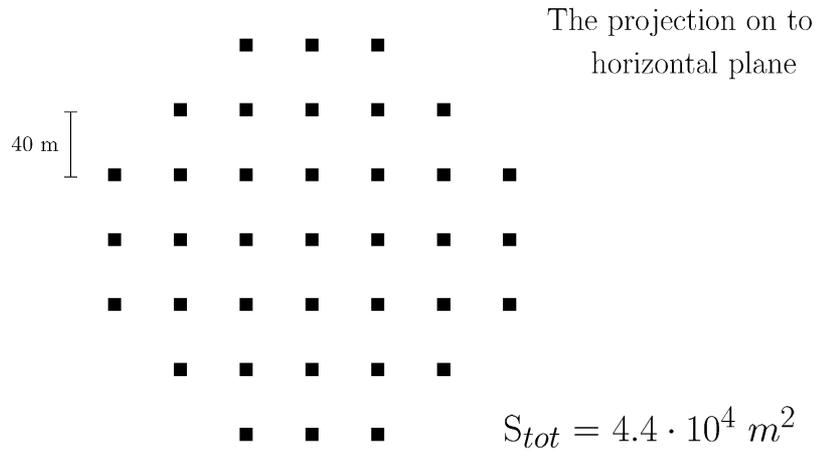
Верхнее ограничение на среднюю частоту коллапсов в Галактике: 0.0612 год^{-1} (6.12 за 100 лет) на 90% уровне достоверности.

Мониторинг нейтринных вспышек в Галактике (сверхновые с коллапсом ядра).

Поиск нейтрино от невидимых коллапсов очень массивных звезд в Галактике:
события с прерванным взрывом сверхновой.

SuperNova Early Warning System: БПСТ – стадия тестирования соединения с SNEWS 2.0

Андырчи

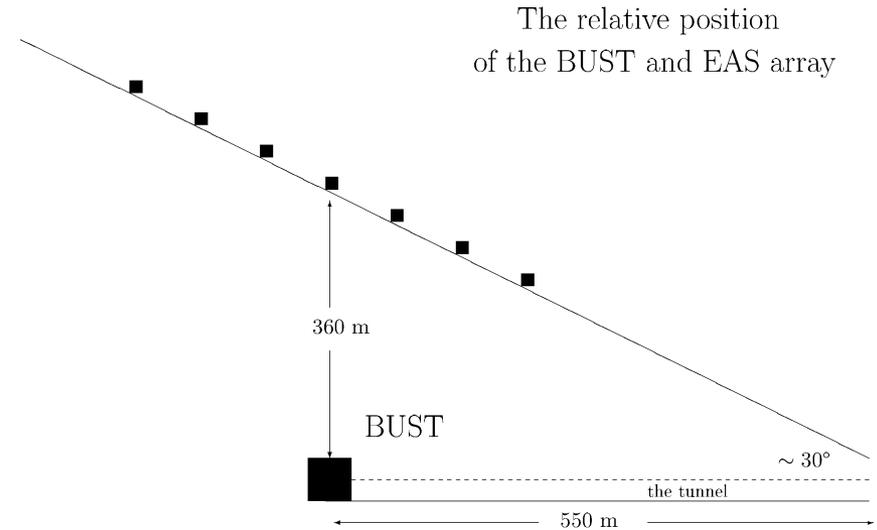


37 plastic scintillation detectors

(1 m × 1 m × 0.05 m)

Shower trigger: ≥ 4 fired detectors

Trigger rate $\approx 9 \text{ sec}^{-1}$



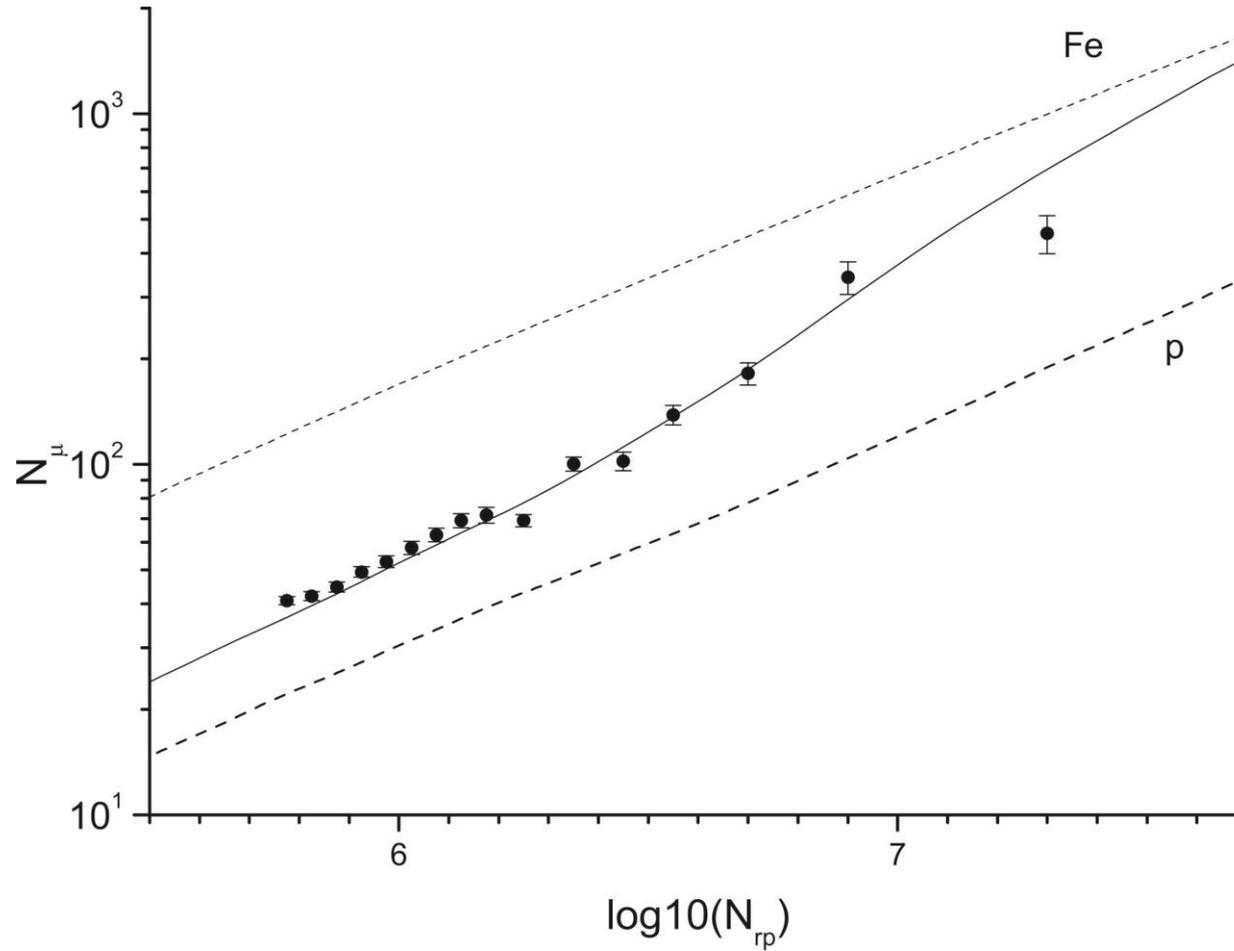
Coincidence rate BUST + "Andyrchy" $\approx 0.1 \text{ sec}^{-1}$

Суммарный темп счета всех детекторов: 11390 с^{-1}

Андырчи

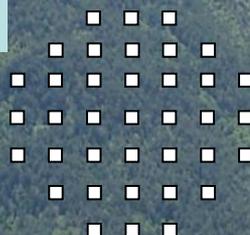


$\langle N_\mu \rangle (N_{rp})$ dependence
 $\sec(\theta) \leq 1.05$, 1996 – 2003, $5.75 \leq \lg N_{r.p.} \leq 7.6$
 $T_{\text{live}} = 9.773 \cdot 10^7 \text{ s } (\approx 1131.1 \text{ days})$

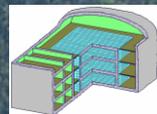


Установка “Андырчи” расположена на склоне горы непосредственно над БПСТ, установка “Ковёр-3” находится на расстоянии ~ 1 км от БПСТ и “Андырчи”.

“Андырчи”



БПСТ



“Ковёр-3”

Вход в тоннель



Космические лучи.

Перспективы дальнейшего развития комплекса установок.

1. Увеличение площади установки “Ковер-3” ~ в 4 раза.
2. Модернизация комплекса установок БНО (БПСТ + Андырчи + Ковёр-3) для изучения событий с первичной энергией в диапазоне (10^{16} - 10^{18}) эВ методом одновременной регистрации ШАЛ разнесенными установками, в том числе изучение высокоэнергичной мюонной компоненты ($E_{\mu} \geq 220$ ГэВ) в ливнях с первичной энергией в данном диапазоне.

Нейтринная физика (1)

Завершен эксперимент BEST (Baksan Experiment on Sterile Transitions): двухзонная мишень (7.47 т и 39.96 т), монохроматический источник ν_e ^{51}Cr .

Объяснения природы галлиевой аномалии (ГА) и поиска возможных осцилляционных переходов в стерильные состояния.

Результаты эксперимента BEST

1) Подтверждена ГА.

2) Полученные ограничения на параметры осцилляций переходов электронных нейтрино в стерильные состояния на очень коротких расстояниях согласуются с осцилляционными переходами, но не доказывают их.

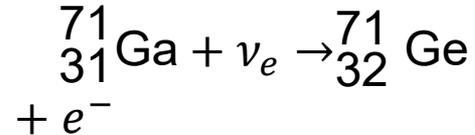
3) ГА плохо согласуется с другими нейтринными и антинейтринными экспериментами (кроме Нейтрино-4).

Тривиальное объяснение:

реальная эффективность извлечения германия составляет ≈ 0.8 . В этом случае новые эксперименты не нужны, но плывут данные по потоку солнечных нейтрино, измеренному в галлиевых экспериментах. Вопросы: как это повлияет на солнечную модель и общую картину нейтринных осцилляций?

Схема Ga измерений

Захват нейтрино в Ga мишени:



Радиохимический цикл

- облучение Ga мишени нейтрино от Солнца (30 сут) или от источника
- извлечение ^{71}Ge ($T_{1/2}=11.43$ сут) из Ga мишени
- счёт распадов ^{71}Ge в пропорциональном счётчике (5 мес)

Эффективность детектирования нейтрино $\varepsilon \approx 0.5$

Скорости захвата нейтрино:

- от Солнца 1 в сут в 50 т Ga
- SAGE – Cr 14 в сут в 13 т Ga
- SAGE – Ar 14 в сут в 13 т Ga
- BEST 130 в сут в 48 т Ga

Объяснение ГА

- 1) Статистическая флуктуация
- 2) Систематика экспериментов
- 3) Завышенное сечение захвата нейтрино в Ga
- 4) Новая физика

- 1) После эксперимента BEST вероятность стат. флуктуации подавлена на уровне $>4\sigma$
- 2) Систематика проверена множеством независимых экспериментов
- 3) Сечение захвата нейтрино измерялось на ускорителях и было посчитано независимо несколькими авторами
- 4) Основная гипотеза из новой физики – осцилляции на короткой базе в стерильные состояния, объясняющие также аномалии, полученные в других экспериментах – LSND, MiniBooNE, измерения реакторных антинейтрино на коротких базах

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

Параметры осцилляций (Δm^2 , $\sin^2 2\theta$) являются сегодня предметом поиска нейтринных экспериментов на короткой базе

Нейтринная физика (2)

Предлагаемые объяснения результатов эксперимента BEST.

1) Галлиевая аномалия — следствие перехода электронных нейтрино в стерильные, но параметры осцилляций не позволяют увидеть их эксперименте с двухзонной мишенью.

—————> **Эксперимент BEST-2:**

трехзонная мишень, монохроматический источник ν_e (^{58}Co , энергия нейтрино увеличивается в 2 раза). Основная цель – измерение параметра Δm^2 в гипотезе стерильных осцилляций.

2) Галлиевая аномалия — следствие перехода в электронных нейтрино в антинейтрино.

Эксперимент с антинейтринным источником (^{170}Tm):
двухзонная мишень.

Новый эксперимент BEST-2

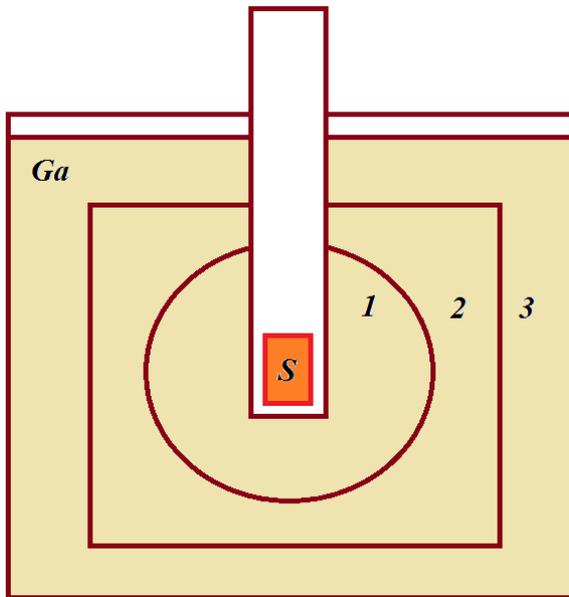
Подробное исследование ГА

Основная гипотеза – стерильные осцилляции

Но также определяем зависимость ГА от энергии нейтрино

Изменения по сравнению с BEST:

- 1) Источник ^{58}Co с энергией нейтрино 1500 кэВ, в 2 раза выше, чем от ^{51}Cr (750 кэВ)*
- 2) Три независимых зоны мишени – более чувствительная к расстоянию мишень (было 2 зоны)*



Для гипотезы осцилляций:

- увеличение энергии нейтрино увеличивает ширину области чувствительности по параметру Δm^2*
- увеличение количества зон мишени даёт однозначное определение параметра Δm^2 в области чувствительности*

Поиск и исследование редких реакций и распадов: требуется дополнительная защита

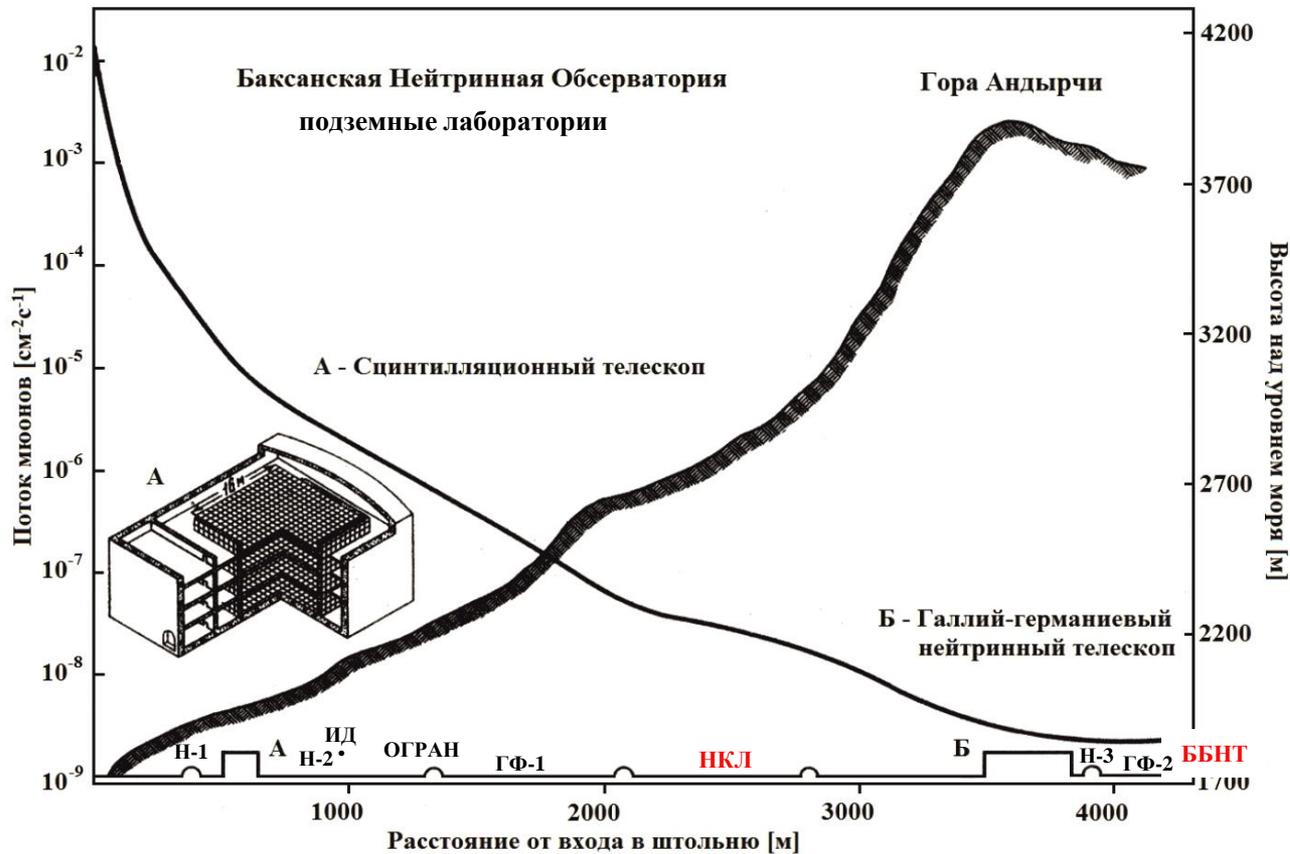
Низкофоновая Лаборатория Глубокого Заложения (НЛГЗ-4900)

глобальная интенсивность мюонов: $3.0 \pm 0.15 \cdot 10^{-9} \mu / (\text{см}^2 \cdot \text{с})$, $\sim 1 \text{ мюон} / (\text{м}^2 \cdot 10 \text{ час.})$



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

Баксанская нейтринная обсерватория ИЯИ РАН: подземные лаборатории.



- А — Баксанский подземный сцинтилляционный телескоп
- Б — Галлий-германиевый нейтринный телескоп
- Н-1 — низкофоновая лаборатория № 1
- Н-2 — низкофоновая лаборатория № 2
- Н-3 — низкофоновая лаборатория № 3
- ИД — Баксанский лазерный интерферометр-деформограф
- ОГРАН — опто-акустическая гравитационная антенна
- ГФ-1 — геофизическая лаборатория № 1
- ГФ-2 — геофизическая лаборатория № 2
- НКЛ — низкофоновая криогенная лаборатория (проект)**
- ББНТ — Баксанский большой нейтринный телескоп (проект)**

Распределение интенсивности мюонов вдоль штольни

Поиск и исследование редких реакций и распадов.

Развитие новых методов исследования безнейтринного двойного бета-распада (создание прототипа детектора, на основе неодимсодержащего жидкого органического сцинтиллятора для поиска безнейтринного двойного бета-распада ^{150}Nd).

- Поиск солнечных аксионов

Измерение стабильности периода полураспада различных ядер во времени:

обнаружены годовые вариации периода полураспада изотопов ^{214}Po , ^{213}Po и ^{212}Po .

Прикладные исследования

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

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

G.V. Domogatsky, V. I. Kopeikin, L. A. Mikaelyan, and V. V. Sinev. Phys.Atom.Nucl., 68, 69, 2005.

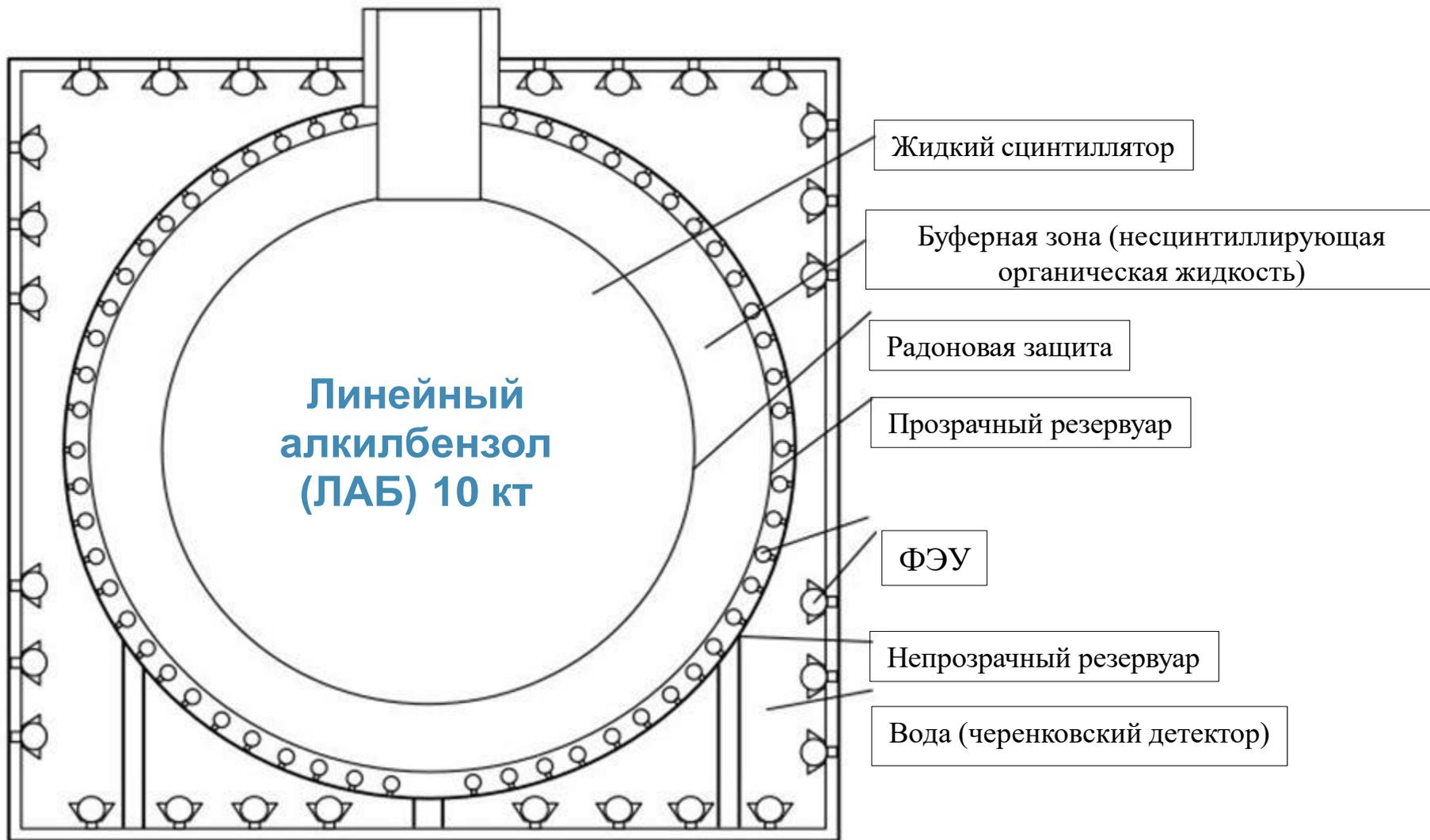
И.Р. Барабанов, Л.Б. Безруков, А.В. Вересникова и др.

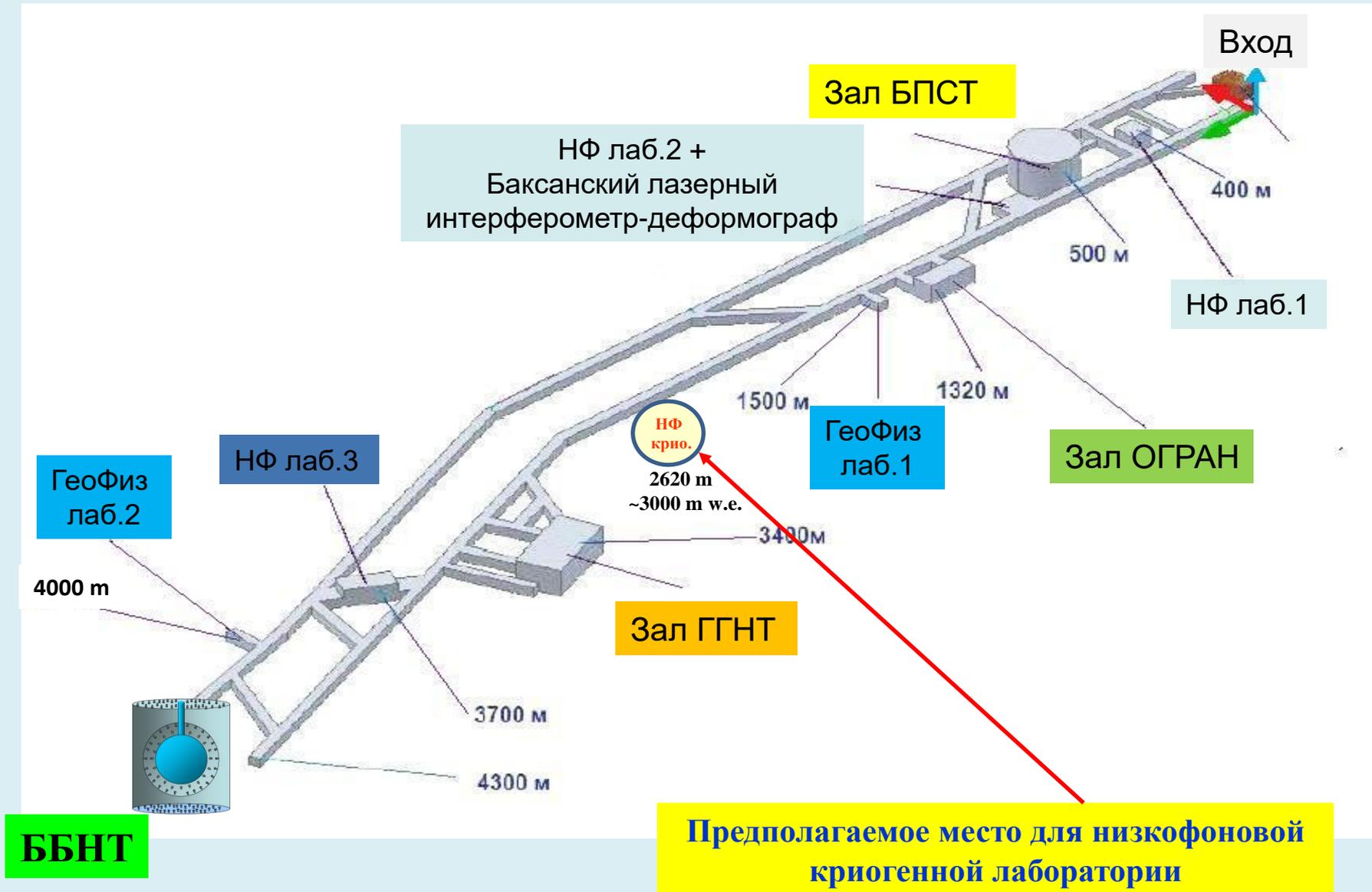
Детектор большого объема в Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН для исследования природных потоков нейтрино для целей гео- и астрофизики.

Ядерная физика, 2017, том 80, №3, с. 230–238

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. Изучение динамики взрыва сверхновых путем регистрации интенсивности и спектра нейтринной вспышки;
4. Поиски изотропного потока антинейтрино, накопившихся во Вселенной за миллиарды лет при гравитационных коллапсах ядер массивных звезд и образовании нейтронных звезд и “черных дыр”;
5. Регистрация совокупного потока антинейтрино от всех имеющихся на Земле энергетических ядерных реакторов. Изучение осцилляций электронных антинейтрино;
6. Исследование спектра солнечных нейтрино и поиск нейтрино от реакций CNO.

Сцинтилляционный детектор большого объёма: предполагаемая конструкция

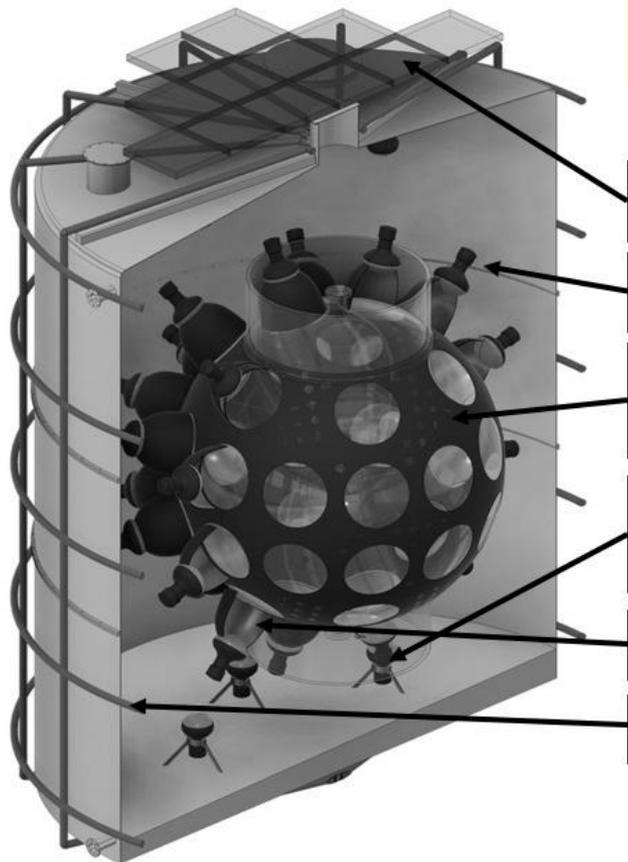




Сцинтилляционный детектор большого объёма: стадии проекта (1)

Первый этап – строительство прототипа с жидким сцинтиллятором массой 0.5 т, расположенного в лаборатории галлий-германиевого нейтринного телескопа БНО ИЯИ РАН (завершено).

Второй этап – создание прототипа с массой жидкого сцинтиллятора 5 т, также расположенного в лаборатории ГГНТ, для тестирования применяемых научно-технических методов (на стадии сборки детектора).



Второй прототип:

4.8 т сцинтиллятора, акриловая сфера диаметром 2200 мм

Muon detector based on plastic scintillator and silicon photomultiplier

Forty two 10-inch PMTs Hamamatsu R7081-100 WA-S70

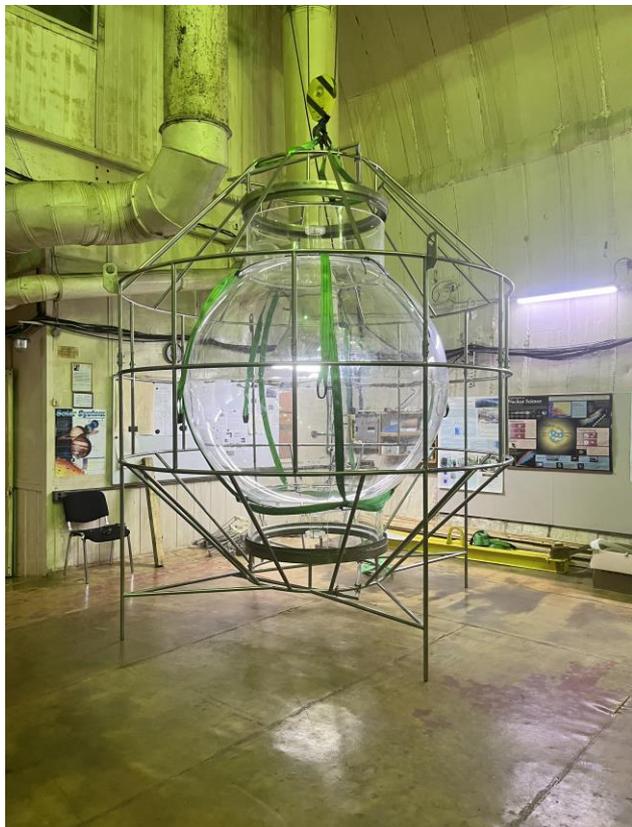
Acrylic sphere ($r = 1.1$ m) with light absorbing film for separation of scintillation target and Cherenkov detector

Twelve 8-inch PMTs Hamamatsu R5912-100 WA-S70 for muon water Cherenkov detector

Carbon light concentrators

Magnetic field compensation system

Второй прототип



Система очистки линейного алкилбензола (ЛАБ) методом вакуумной дистилляции.

- 1) Спроектирована и изготовлена пилотная установка производительностью 100 л/час.
- 2) Установка будет доставлена в БНО и собрана летом 2024 г.
- 3) Заполнение второго прототипа сцинтиллятором на основе ЛАБ - осень 2024 г.

Сцинтилляционный детектор большого объёма: стадии проекта (2)

Третий этап – проектирование и строительство детектора с массой сцинтиллятора порядка 100 т. Возможные задачи: проверка галлиевой аномалии (TMG), проверка качества сцинтиллятора перед заполнением большого детектора, стерильное нейтрино (^{144}Ce) и др.

Четвертый этап – проектирование, строительство и запуск полномасштабного детектора, способного решать весь комплекс задач проекта.

Низкофоновая криогенная лаборатория в БНО ИЯИ РАН

Эксперименты по поиску редких распадов и процессов в природе

Поиск безнейтринного двойного бета-распада
Поиск гипотетических частиц Темной Материи
Поиск солнечных аксионов

.....

**Регистрация солнечных нейтрино и нейтрино от Сверхновых
и
практически все задачи для сцинтилляционного детектора большого объёма**

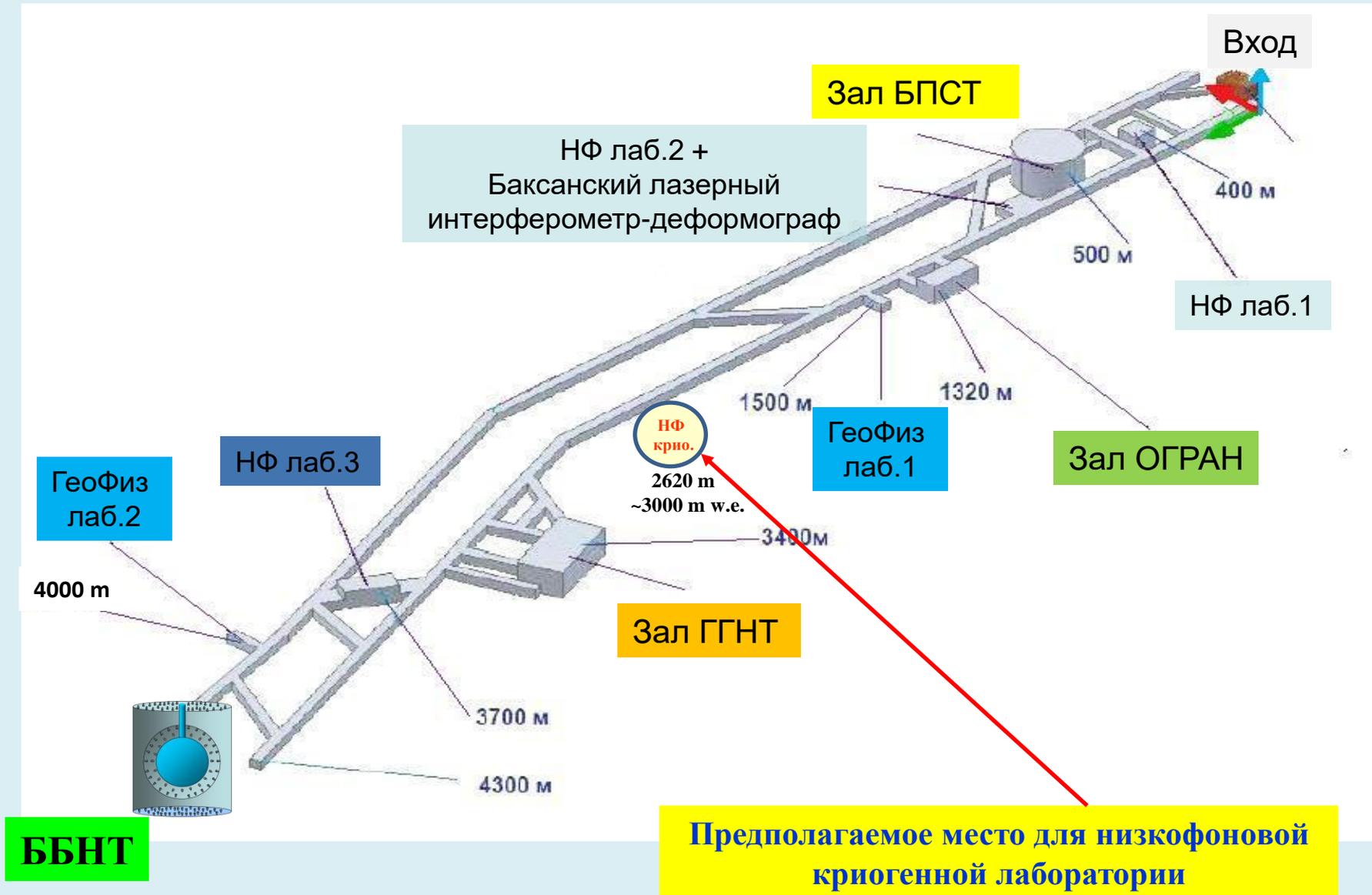
Криогенные эксперименты

Варианты развития криогенных экспериментов в БНО:

- 1) Детекторы на сниженных благородных газах - ксенон, аргон
- 2) Детекторы на основе сцинтилляционных кристаллов, охлажденных до температуры 10 мК, работающих в режиме болометров (в т.ч. сцинтилляционные кристаллы как болометры).

**Сжиженные благородные газы:
большой чувствительный объем, легкость масштабирования.**

**Болометры:
высокое энергетическое разрешение и эффективность
регистрации.**

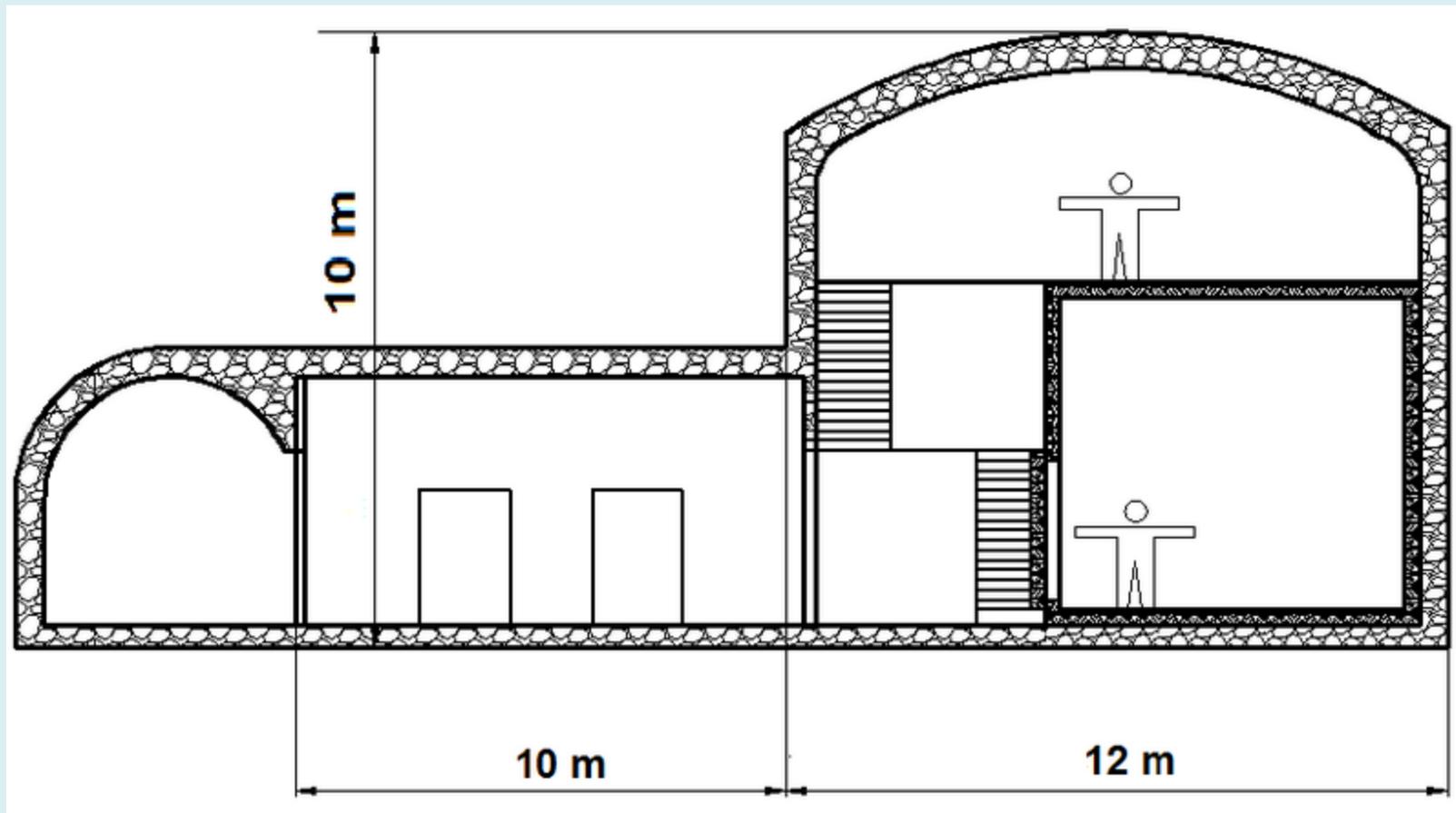


Предполагаемое место для низкофоновой криогенной лаборатории



2620 м, ~ 3000 м в.э.

Новая подземная лаборатория в уже существующей выработке



При наличии новой подземной лаборатории возможно создание детектора в 20 - 50 тонн рабочего вещества.