

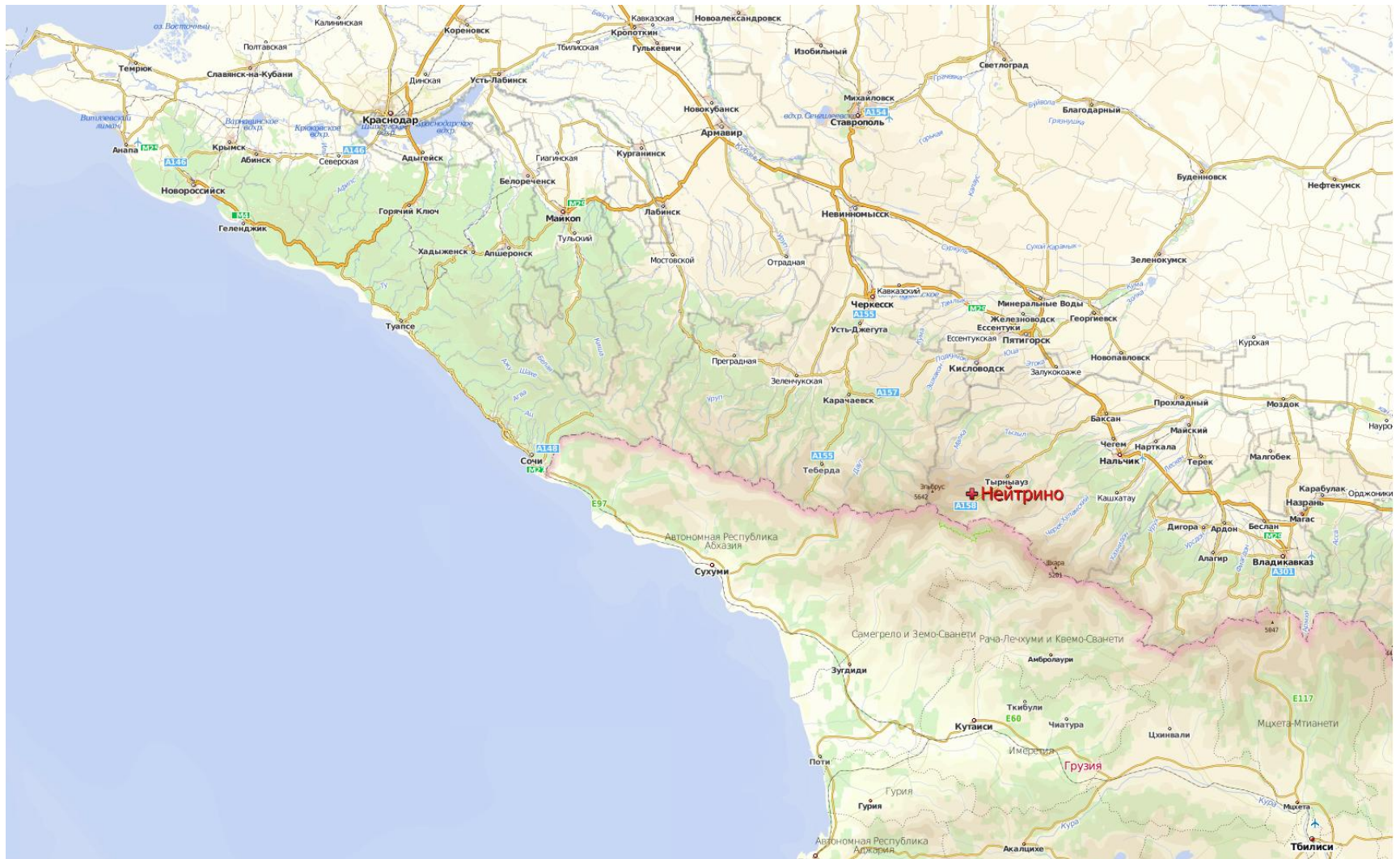


Баксанская нейтринная обсерватория. Современное состояние и перспективы

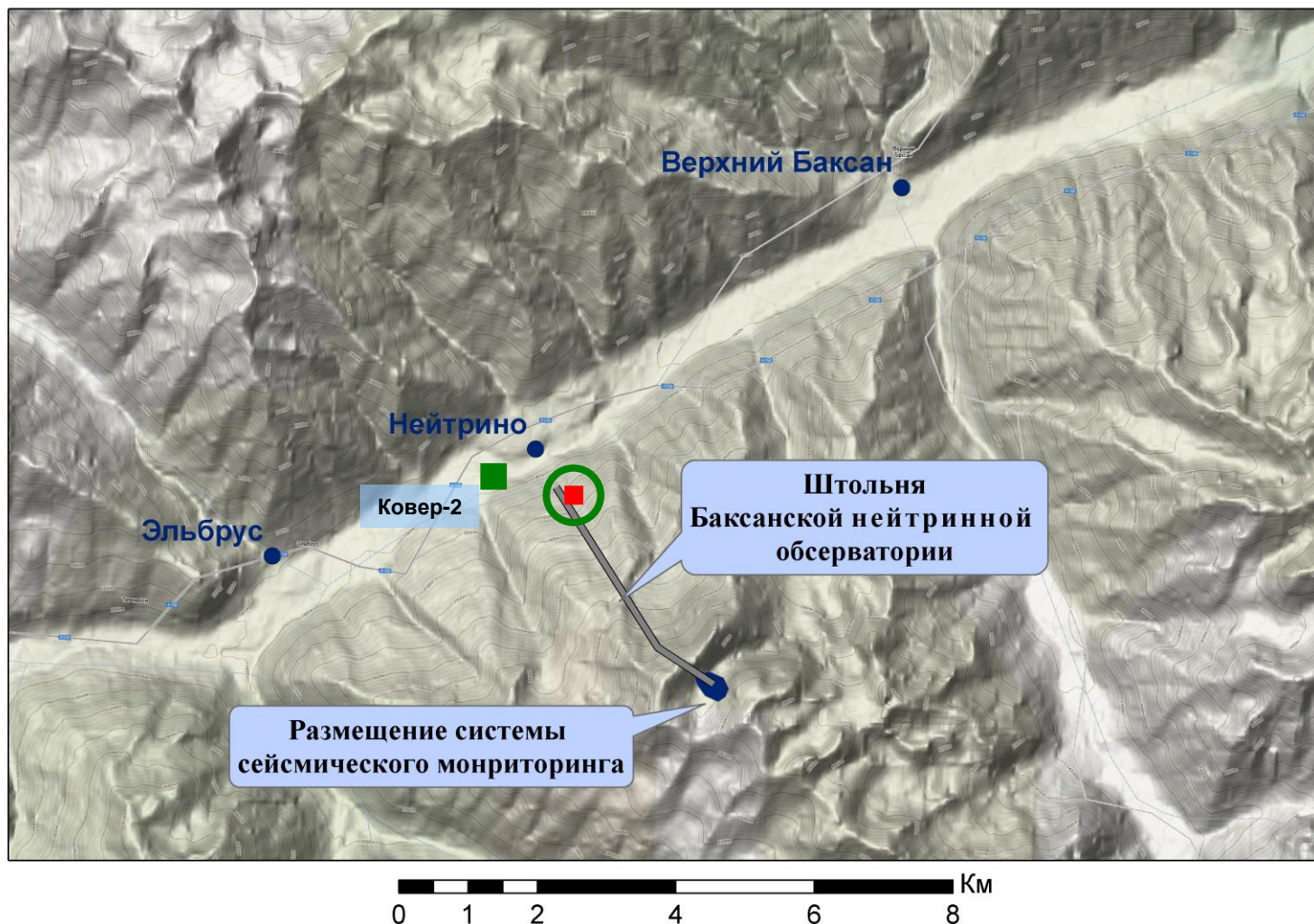
В.Б. Петков

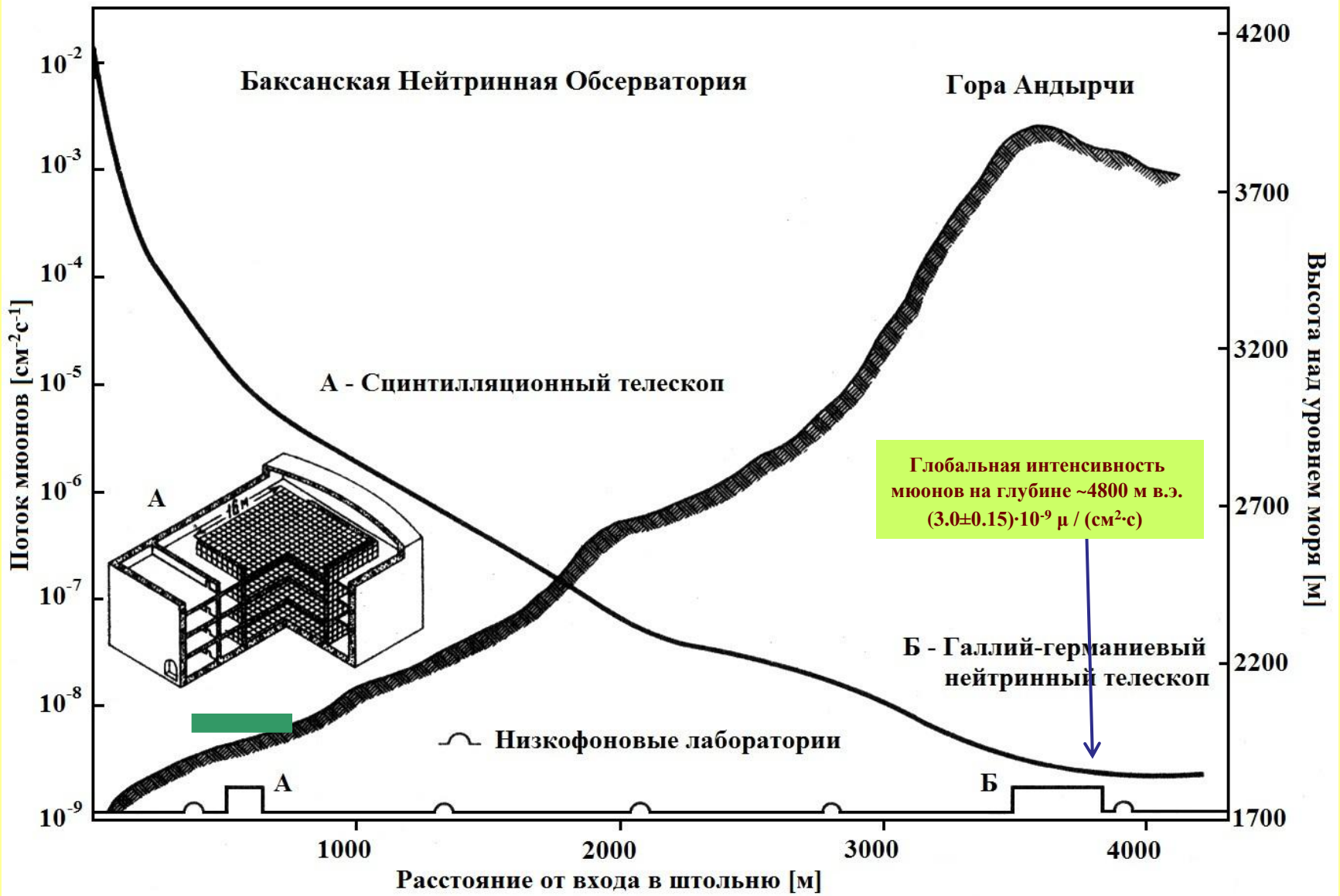
Институт ядерных исследований РАН

Расположение Баксанской нейтринной обсерватории:
Приэльбрусье, пос. Нейтрино.
Начало строительства: 1967 год.



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





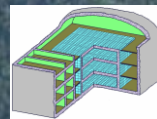
Распределение интенсивности мюонов вдоль штольни

Баксанская нейтринная обсерватория ИЯИ РАН

“Андырчи”



БПСТ



“Ковёр-2”

Вход в тоннель



Вход в подземные сооружения

Штольня главная

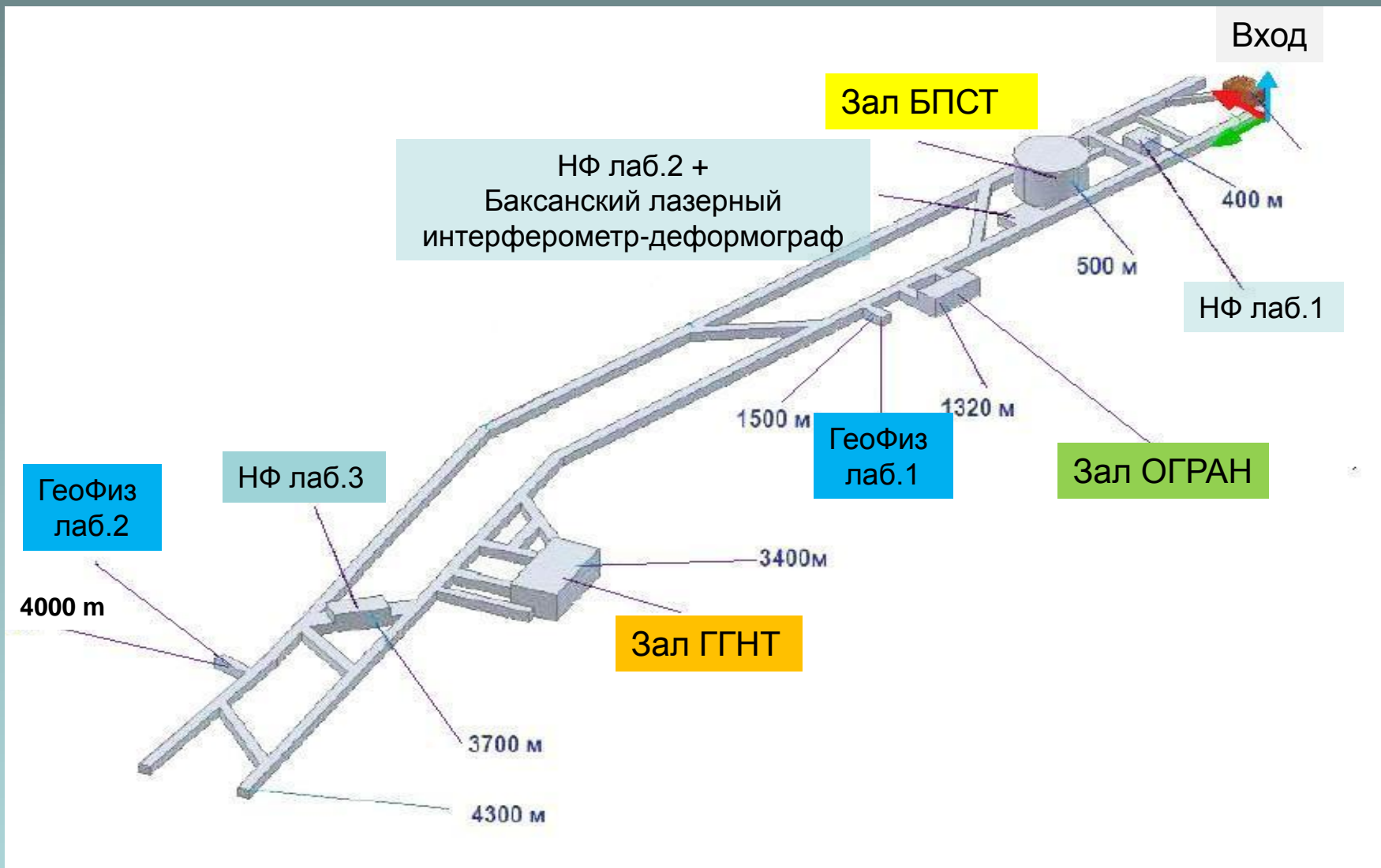
Штольня вспомогательная





Штольня Главная, 500 м от входа





Подземные лаборатории БНО ИЯИ РАН

Вентиляция: 55 кВт, 30.8 м³/сек

Геофизика

ГАИШ МГУ: Баксанский лазерный интерферометр-деформограф.

Геофизическая служба РАН: сейсмическая станция.

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

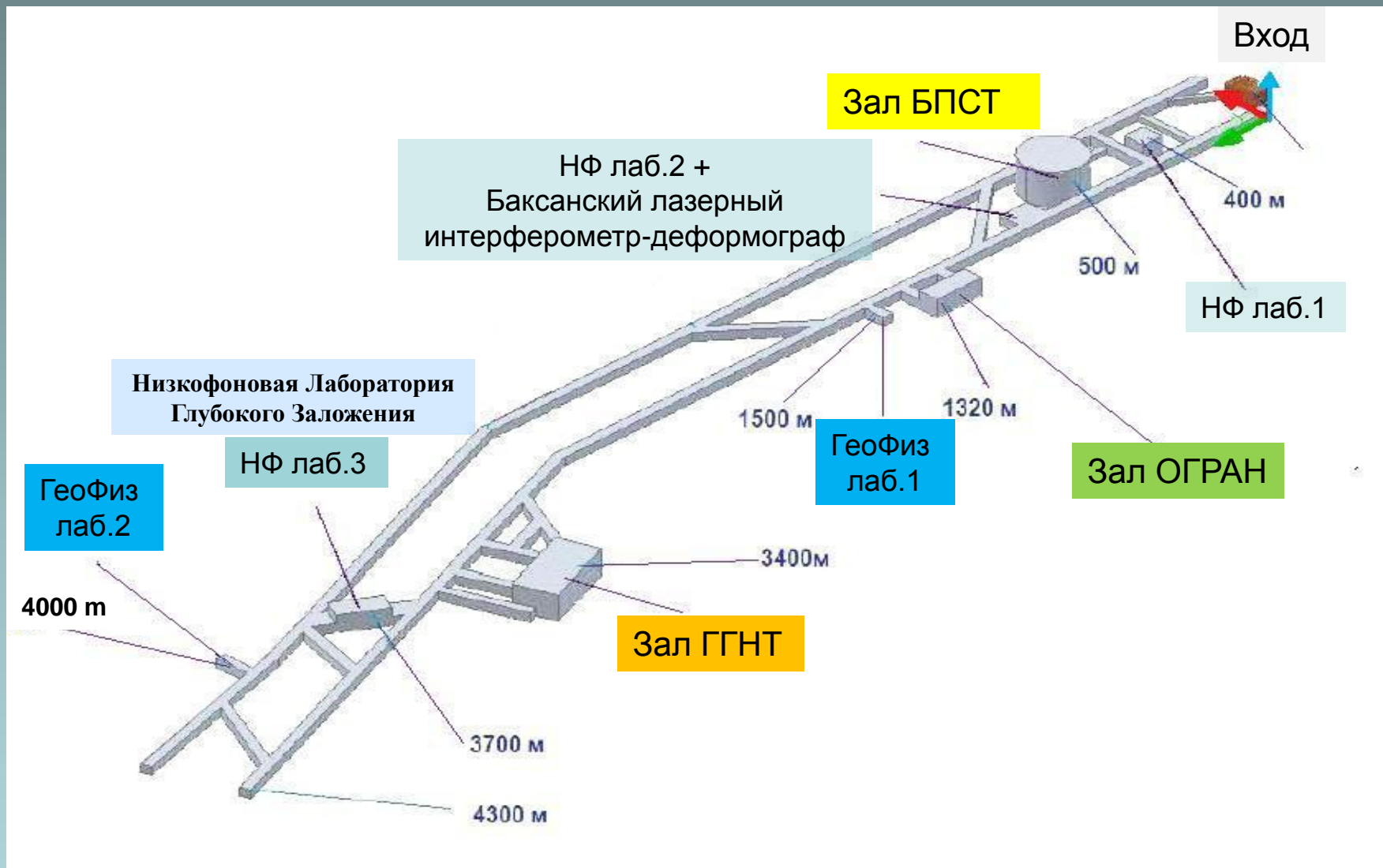
- Кавказский регион, включая территорию КБР, относится к одному из наиболее сейсмоактивных регионов России, где возможны катастрофические землетрясения с магнитудой 7.0 и более.
- Эльбрус – единственный в европейской части России активный вулкан (находящийся в настоящее время в состоянии покоя), расположенный 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.

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



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



Низкофоновые лаборатории

Исследование редких реакций и распадов: требуется дополнительная защита.

Низкофоновые лаборатории.

Исследование редких реакций и распадов: двойной β -распад (двойной К-захват), поиск темной материи (в том числе поиск аксионов от Солнца).



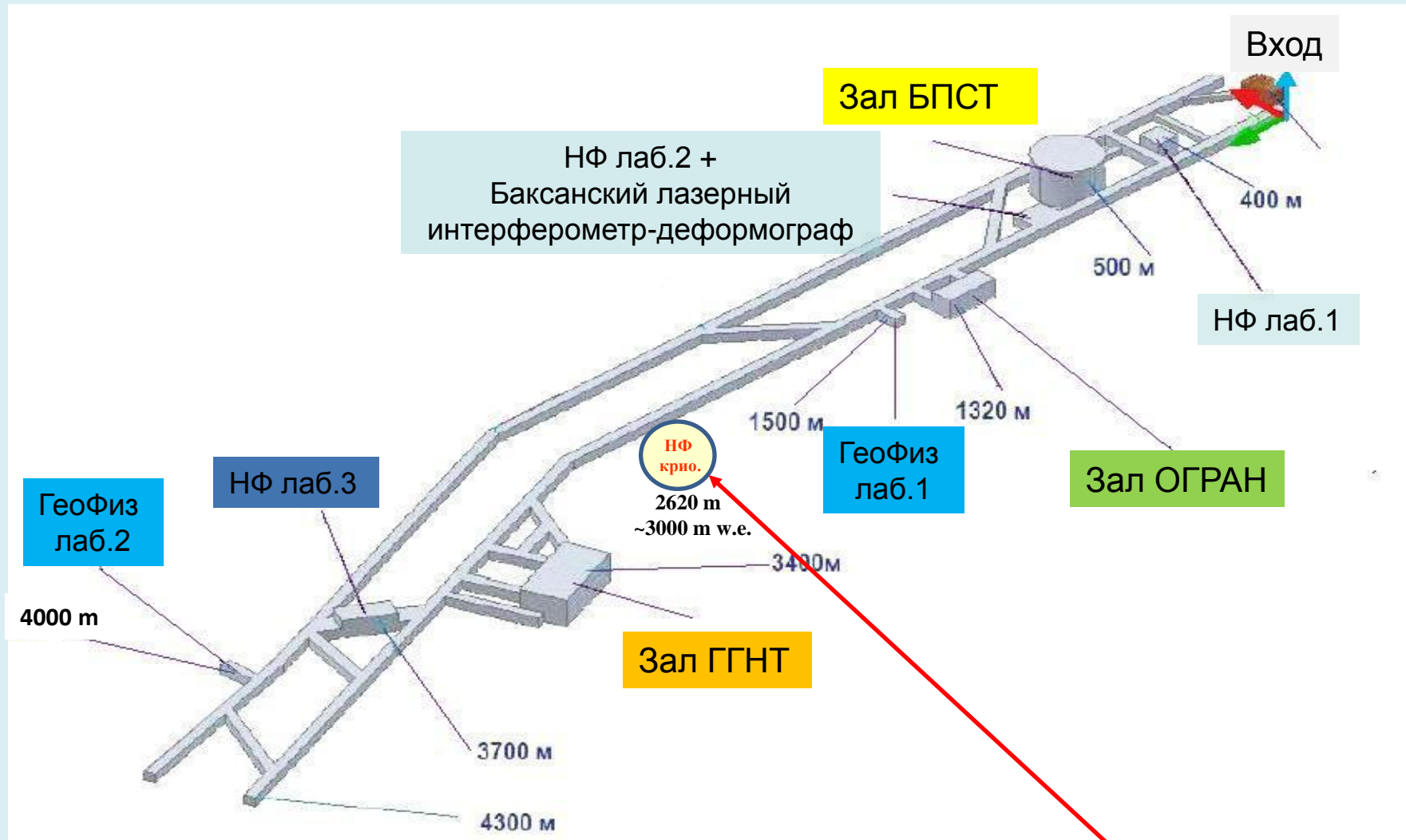
Низкофоновая Лаборатория Глубокого Заложения (НЛГЗ-4900)

**Глобальная интенсивность мюонов на глубине ~4800 м в.э.: $(3.0 \pm 0.15) \cdot 10^{-9} \mu / (\text{см}^2 \cdot \text{с})$
~ 1 мюон/ $(\text{м}^2 \cdot 10 \text{ час.})$**

Низкофоновая Лаборатория Глубокого Заложения (НЛГЗ-4900)



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



Предполагаемое место для низкофоновой криогенной лаборатории

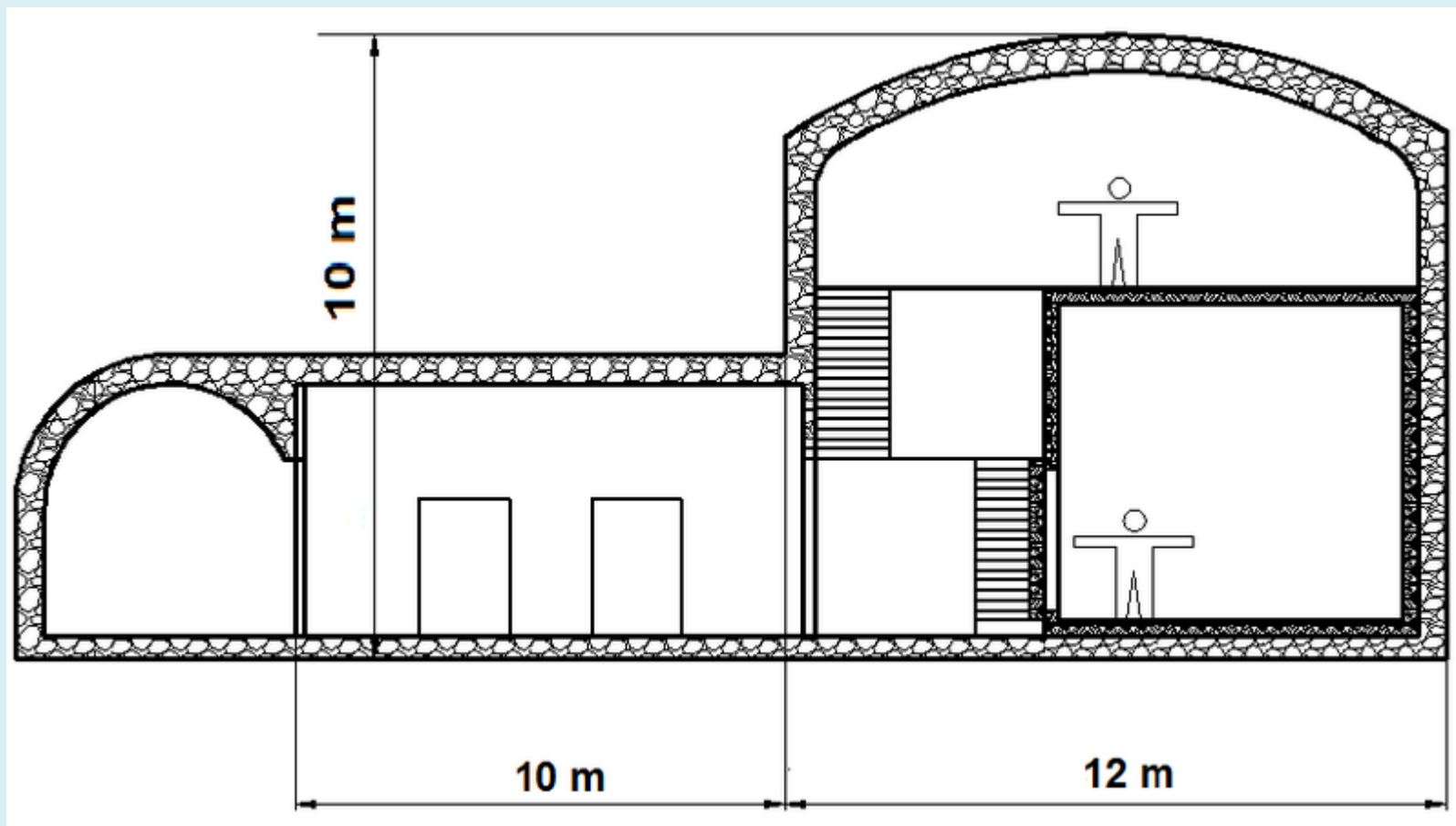
Например:
 $^{40}\text{Ca}^{100}\text{MoO}_4$ криогенный сцинтилляционный детектор, $T \sim 40 \text{ mK}$
 (коллаборация АМоRE)

Предполагаемое место для низкофоновой криогенной лаборатории

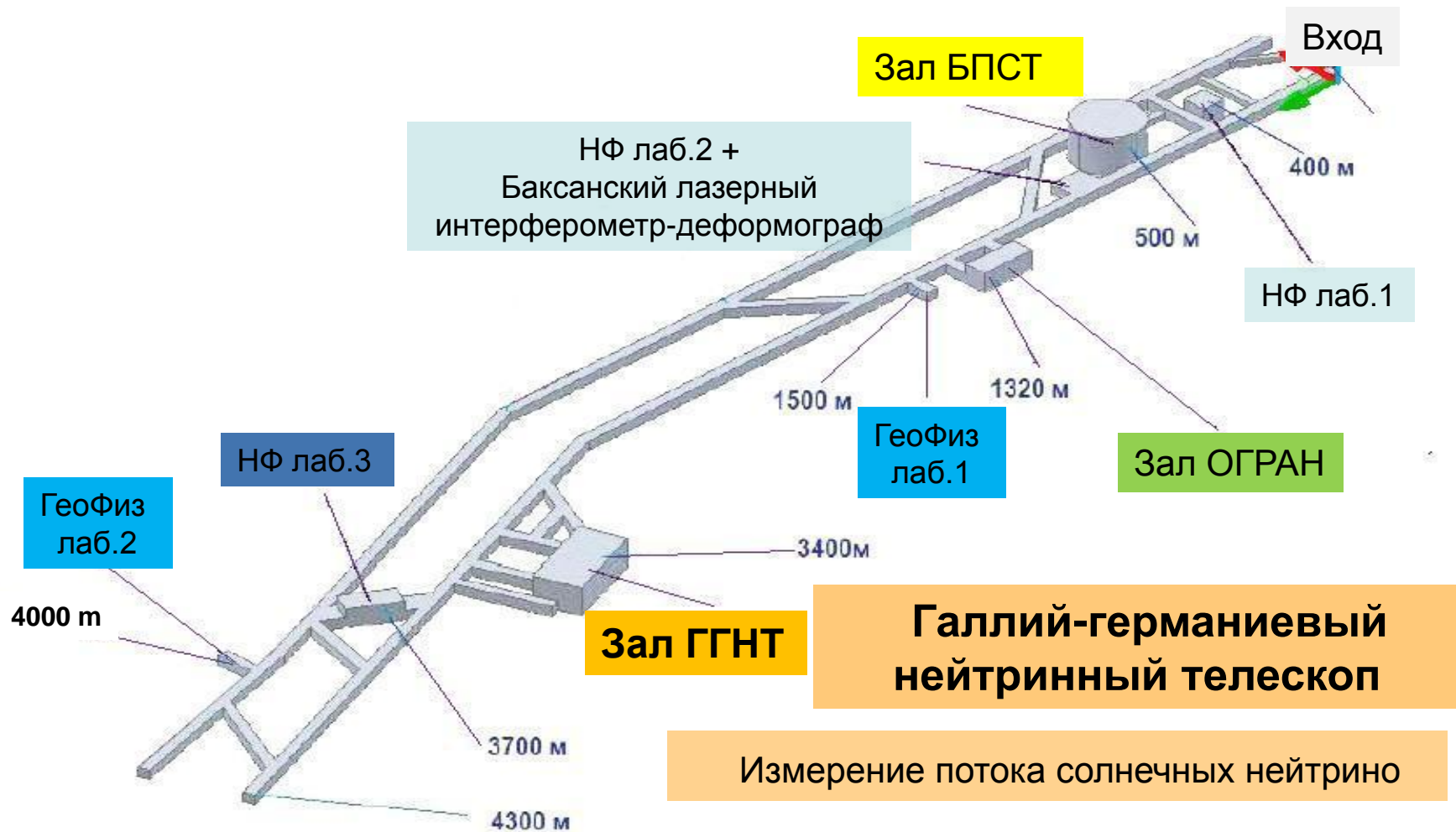


2620 м, ~ 3000 м в.э.

Низкофоновые исследования: перспективы.



Предполагаемое место для низкофоновой криогенной лаборатории



$^{71}\text{Ga} (\nu_e, e^-) ^{71}\text{Ge}$ - 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 ($>3\text{MeV}$)

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

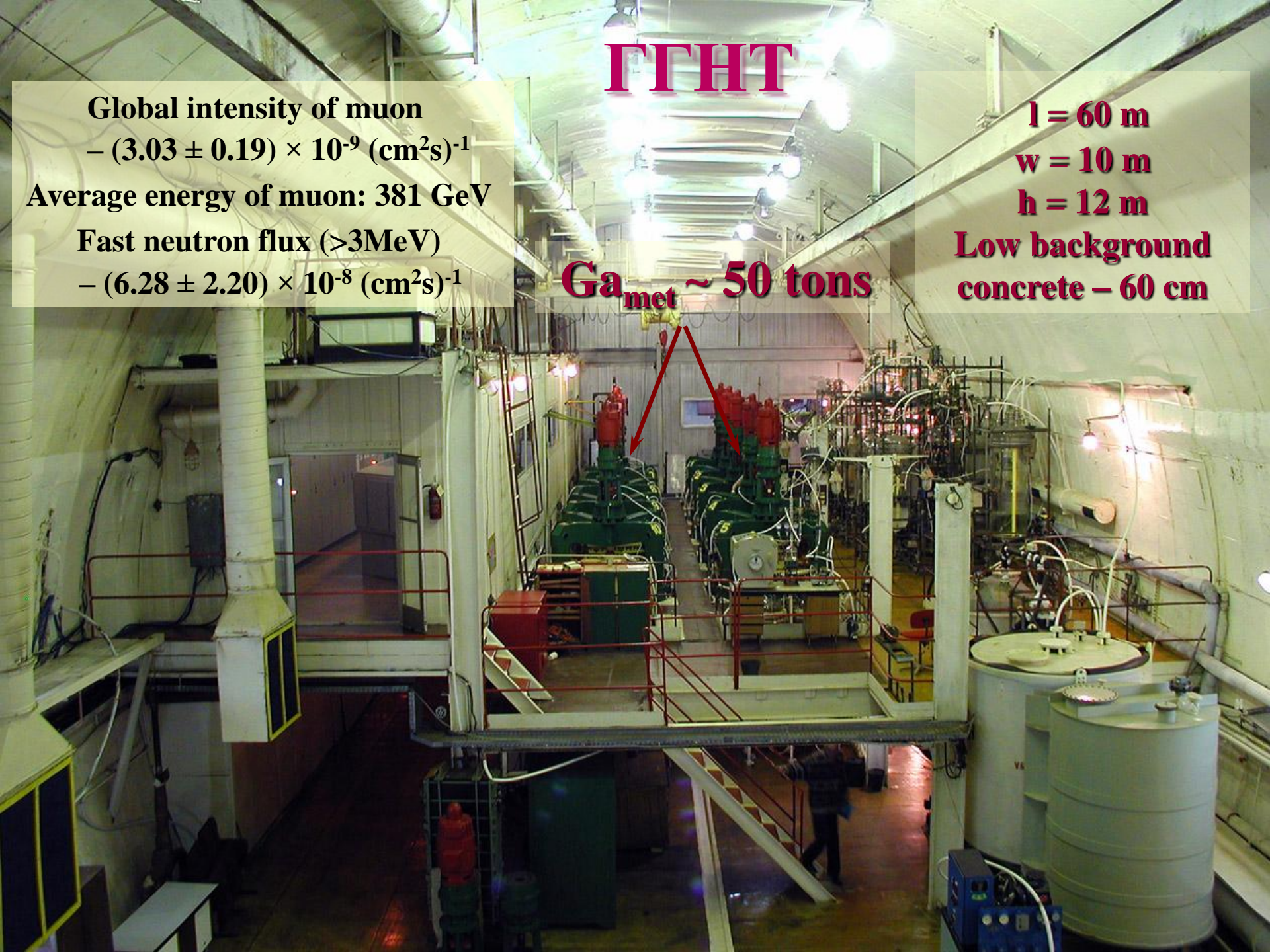
$$l = 60 \text{ m}$$

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

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

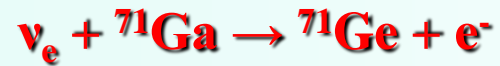
Low background
concrete – 60 cm

Ga_{met} ~ 50 tons





Ga solar neutrino measurements



Threshold **233 keV**,

$T_{1/2}$ of ${}^{71}\text{Ge} = 11.43 \text{ d}$

${}^{71}\text{Ga}$: **40%** in natural Ga

50 t of Ga = $1.7 \cdot 10^{29}$ at ${}^{71}\text{Ga}$

Capture rate on Ga (SSM) **$\sim 130 \text{ SNU}$**

– **1.9** captures in 50 t Ga per day

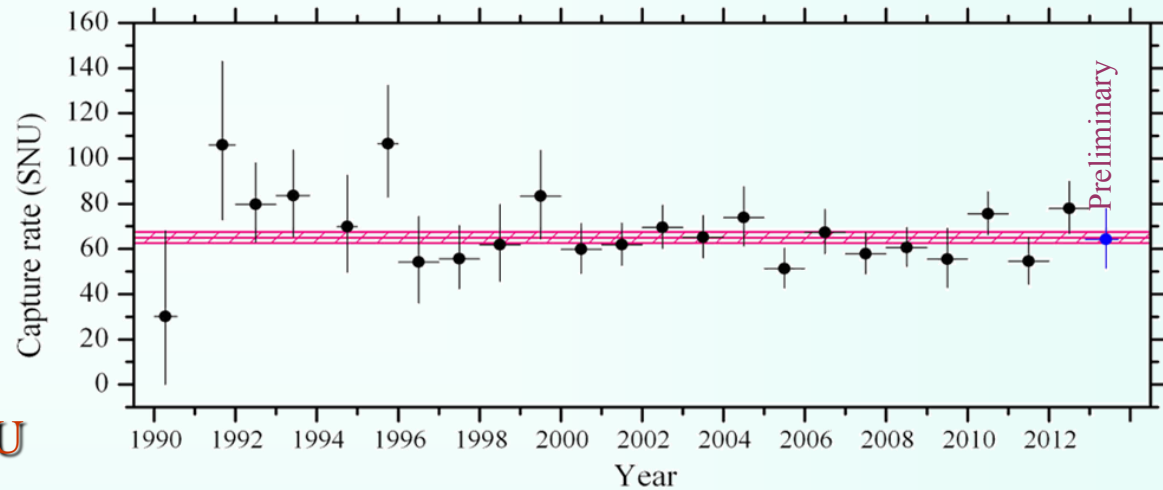
– **26** atoms of ${}^{71}\text{Ge}$ in 50 t Ga per month

Efficiencies: (extraction, chemical, counting) $\sim 50\%$,

one run – ≈ 13 decays of ${}^{71}\text{Ge}$ atoms

Counting time of each run ~ 150 days

Combined results for each year



Result : $65.0 \pm 2.4(\text{stat.})^{+2.6}_{-2.8}(\text{syst.}) \text{ SNU}$

$65.0^{+3.5}_{-3.7} \text{ SNU}$

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

Gallium anomaly

Radioactive sources in gallium solar neutrino exps.:



GALLEX:

$$A(\text{Cr}_1) = 1.714 \pm 0.036 \text{ MCi}$$

$$A(\text{Cr}_2) = 1.868 \pm 0.073 \text{ MCi}$$

${}^{51}\text{Cr}$:

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

${}^{37}\text{Ar}$:

811 keV (90.2%), 813 keV (9.8%)

SAGE:

$$A(\text{Cr}) = 0.517 \pm 0.006 \text{ MCi}$$

$$A(\text{Ar}) = 0.409 \pm 0.002 \text{ MCi}$$

Ratio of measured to predicted [Bahcall 97] rate (R):
(no uncertainty on cross section included)

GALLEX:

$$R_1(\text{Cr}) = 0.953 \pm 0.11$$

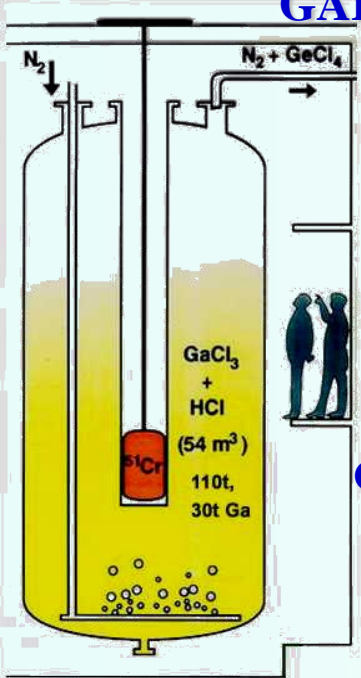
$$R_2(\text{Cr}) = 0.812 \pm 0.10$$

SAGE:

$$R_3(\text{Cr}) = 0.95 \pm 0.12$$

$$R_4(\text{Ar}) = 0.791 \pm 0.084$$

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

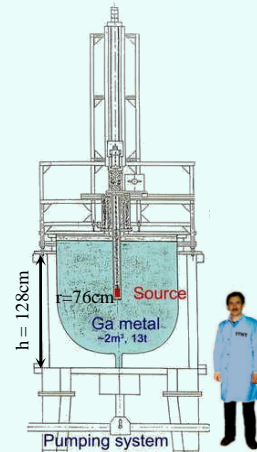


Galex has twice used

${}^{51}\text{Cr}$

The reason of low result in the source experiments can be :

- (1) the capture rate, predicted by Bahcall, can be overestimated (W. Haxton),
- (2) statistical fluctuation (probability~5%),
- (3) electron neutrinos disappear due to a real physical effect. For example, neutrino oscillations with a transition from active to sterile neutrinos with $\Delta m^2 \sim 1\text{eV}^2$.



SAGE has used
 ${}^{51}\text{Cr}$ and ${}^{37}\text{Ar}$

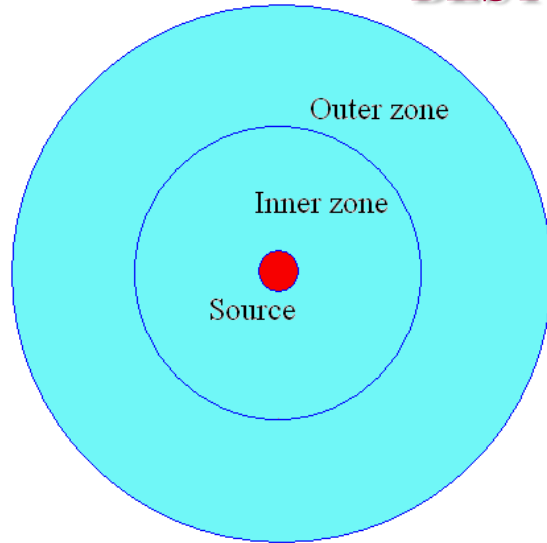


June 24-29, 2013

Valday, Novgorod region, RUSSIA

New Ga source experiment

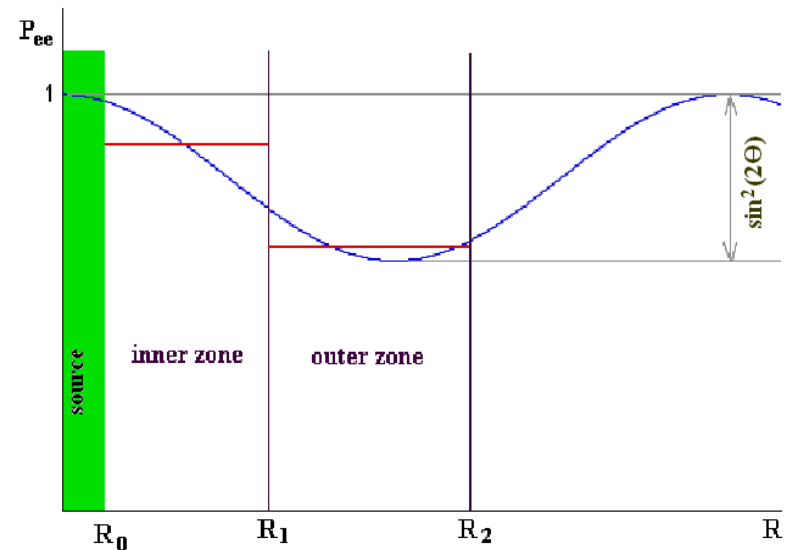
“BEST” – Baksan Experiment on Sterile Transitions



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

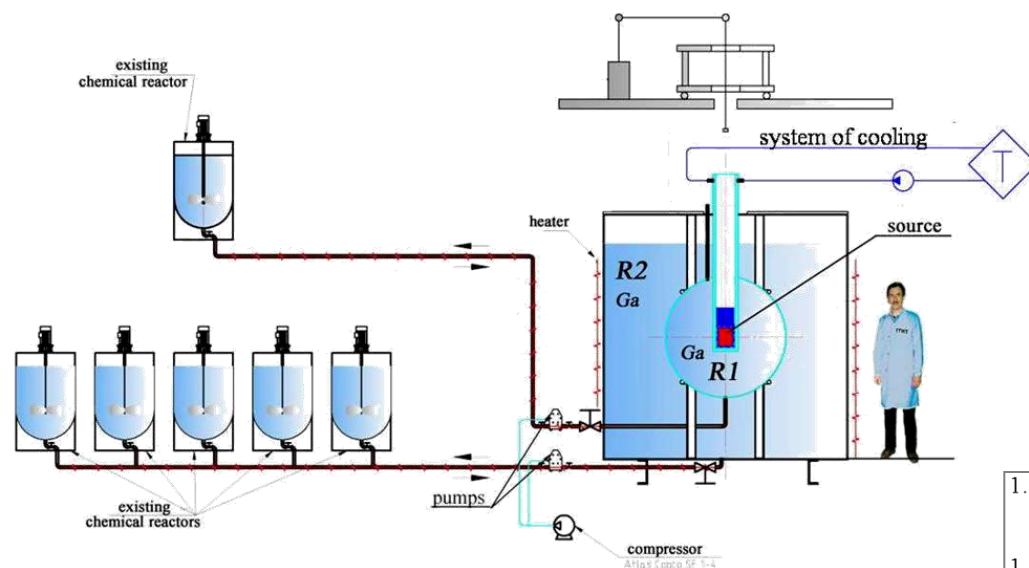




June 24-29, 2013

Valday, Novgorod region, RUSSIA

2-zone Ga experiment



Target – 50 t Ga metal

Masses of the zones 8 t and 42 t

Path length in each zone $\langle L \rangle = 55$ cm

^{51}Cr Source: $T_{1/2} = 27.7$ d, 3 MCi

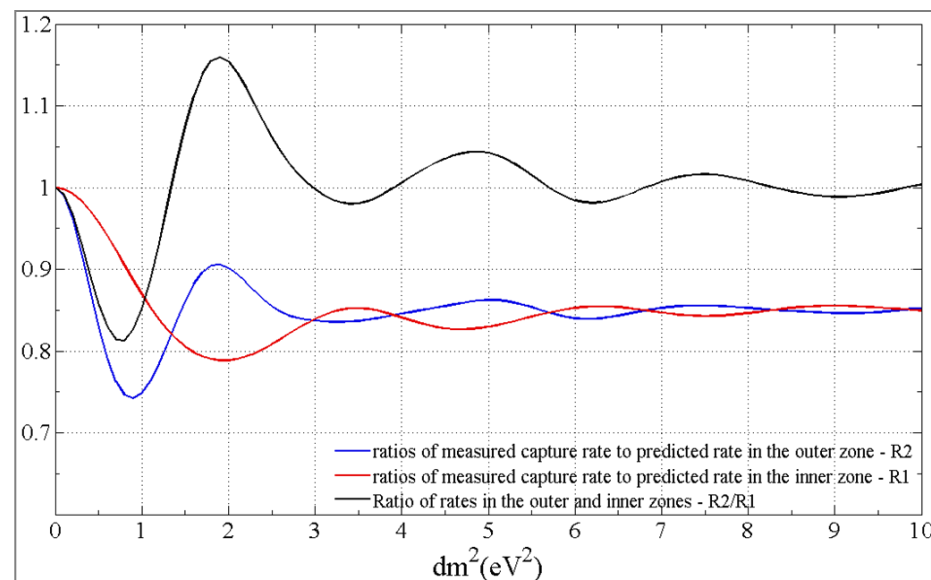
**$E_\nu = 750$ keV (90%), >95 % captures
430 keV (10%)**

- 2 baseline measurement
- Nuclear capture experiment



Indication of oscillations:

- 1) capture rates in two zones are different
- 2) capture rates in both zones are suppressed



Work stages on creation of a two-zone reactor for Ga target



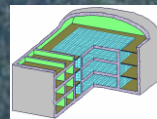
1. To complete modernization of GGNT and begin to use 2-zone tank for Ga target as well as the new registration system with 8 counting channels for solar neutrino measurement
– 2014
2. Seeking funding for enrichment of 3.5 kg ^{50}Cr & producing of 3 MCi ^{51}Cr source
– 2014

Установки для регистрации космических лучей Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН

“Андырчи”



БПСТ



“Ковёр-2”

Вход в тоннель



Установки БПСТ, Ковёр-2, Андырчи

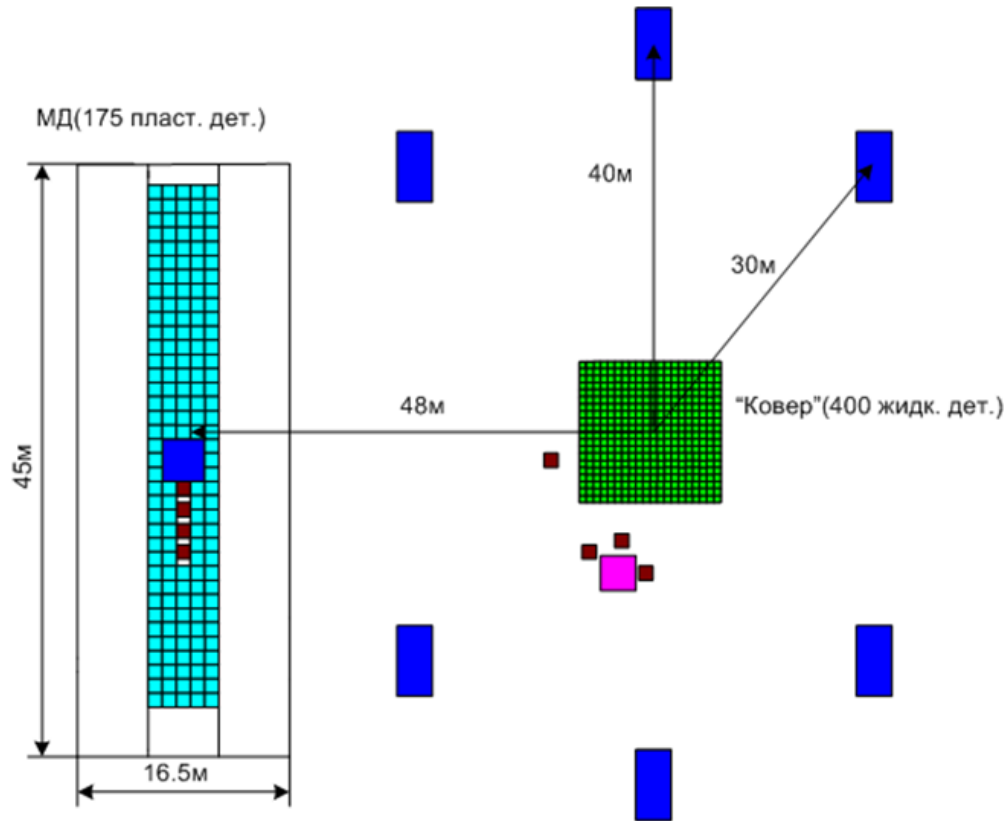
- **Космические лучи**

1. Галактические космические лучи: ($10^{13} - 10^{17}$) эВ – спектр, состав, анизотропия, излом в спектре ПКИ.
2. Изучение вариаций интенсивности космических лучей.
3. Взаимодействия космических лучей. Поиск новых частиц (напр., магнитных монополей).

- **Нейтринная физика и астрофизика.**

- **Гамма-астрономия ($E_\gamma : 10 \text{ ГэВ} - 100 \text{ ТэВ}$), включая гамма-всплески и испаряющиеся первичные чёрные дыры.**

Ковёр-2



Ковёр: 1973 год

Установка "Ковёр-2"

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

Ковёр-2



Ковёр

Мюонный детектор

ВЫНОСНЫЕ ПУНКТЫ

Ковёр-2 → Ковёр-3

Сцинтилляционные детекторы вокруг Ковра (~ 61 детектор площадью 1 м^2 каждый)

Увеличение площади мюонно-адронного детектора до 615 м^2
Увеличение площади ДТН до 13 м^2 (сейчас 5 м^2)



Д.Д. Джаппуев.

Установка “Ковёр-3” для изучения области излома в спектре ПКИ

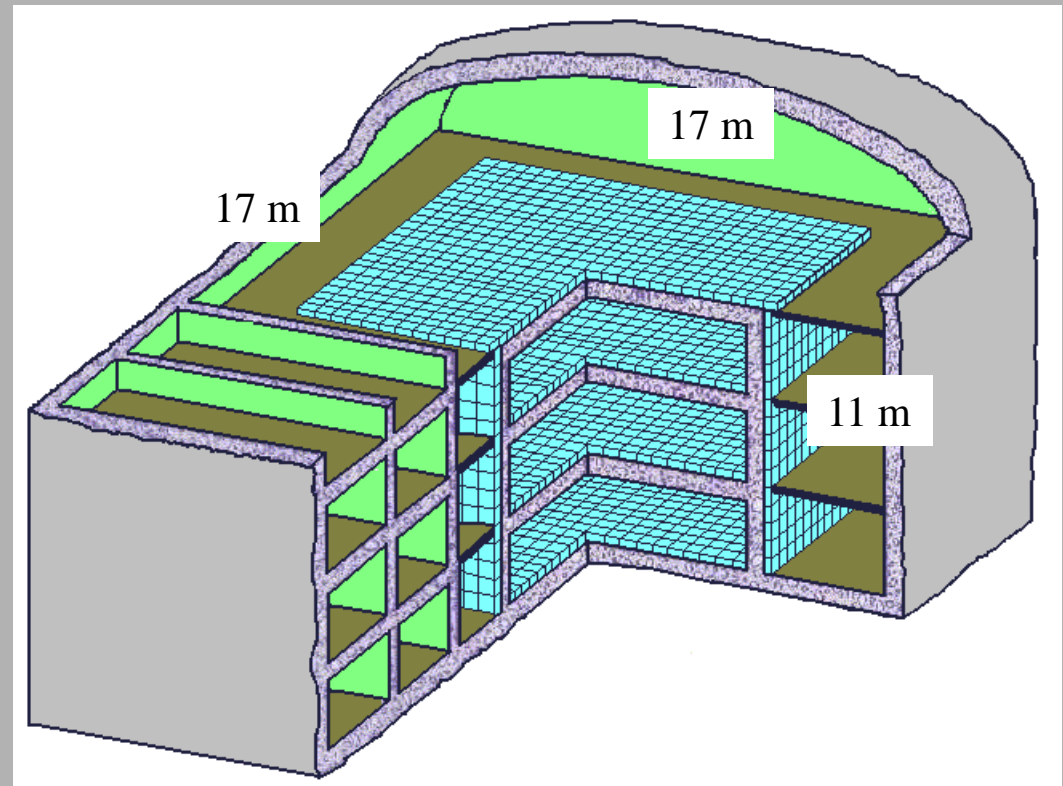
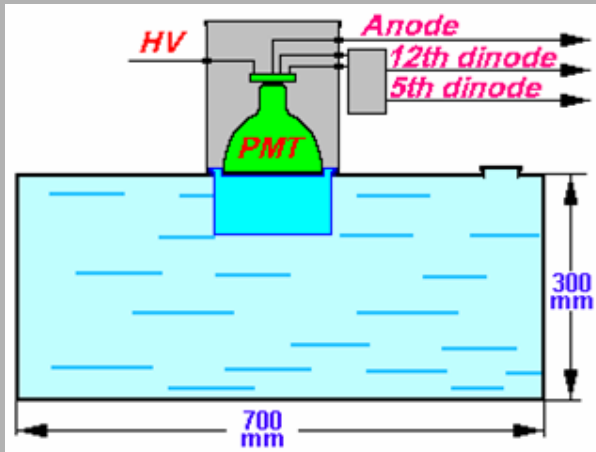
Баксанский подземный цинтилляционный телескоп

1977 - ...

Стабильная работа установки,
стабильный цинтиллятор

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

3180 детекторов



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



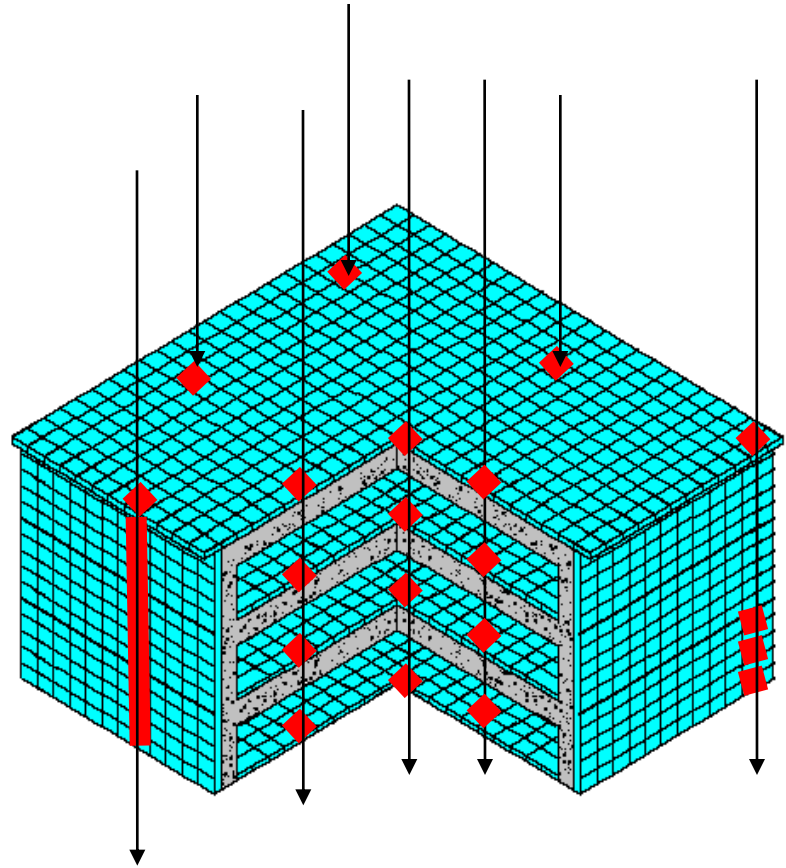


$$E_{\mu} \geq E_{\text{th}}(\mathbf{x})$$
$$\mathbf{x} = \mathbf{x}(\theta, \varphi)$$

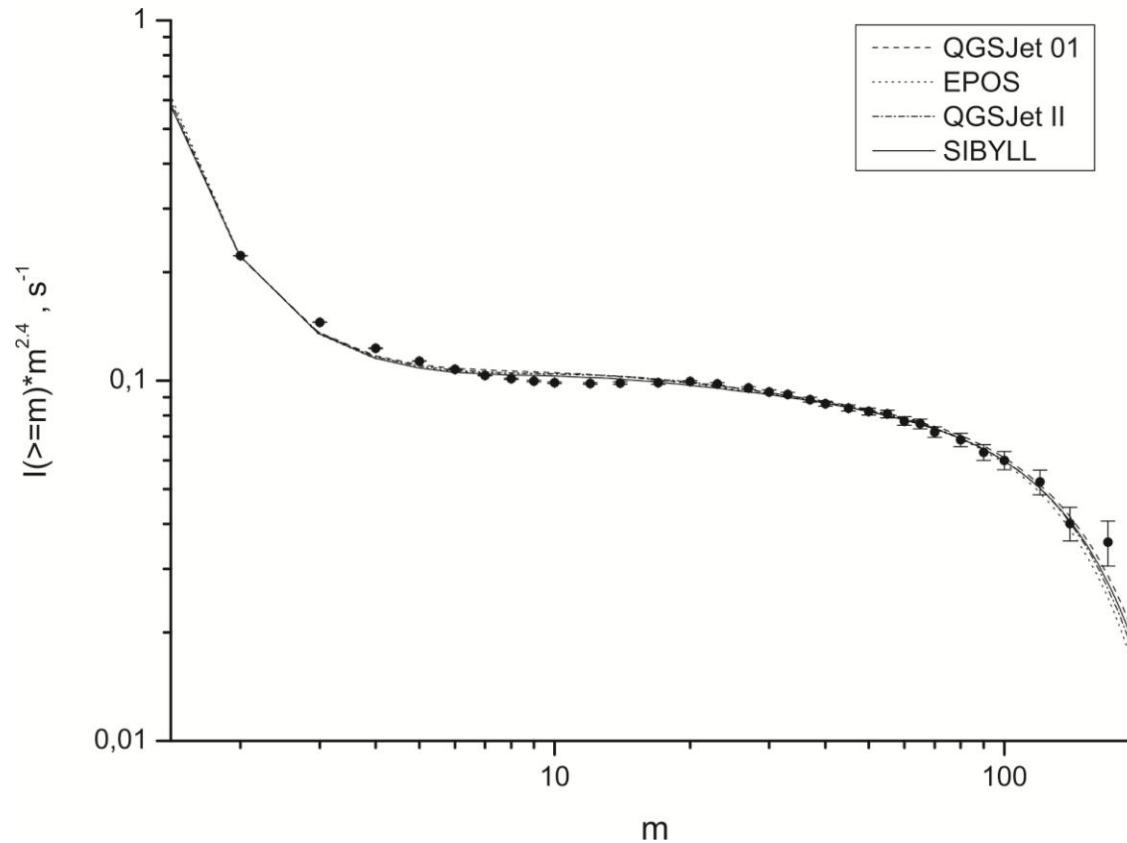
Muon group

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

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

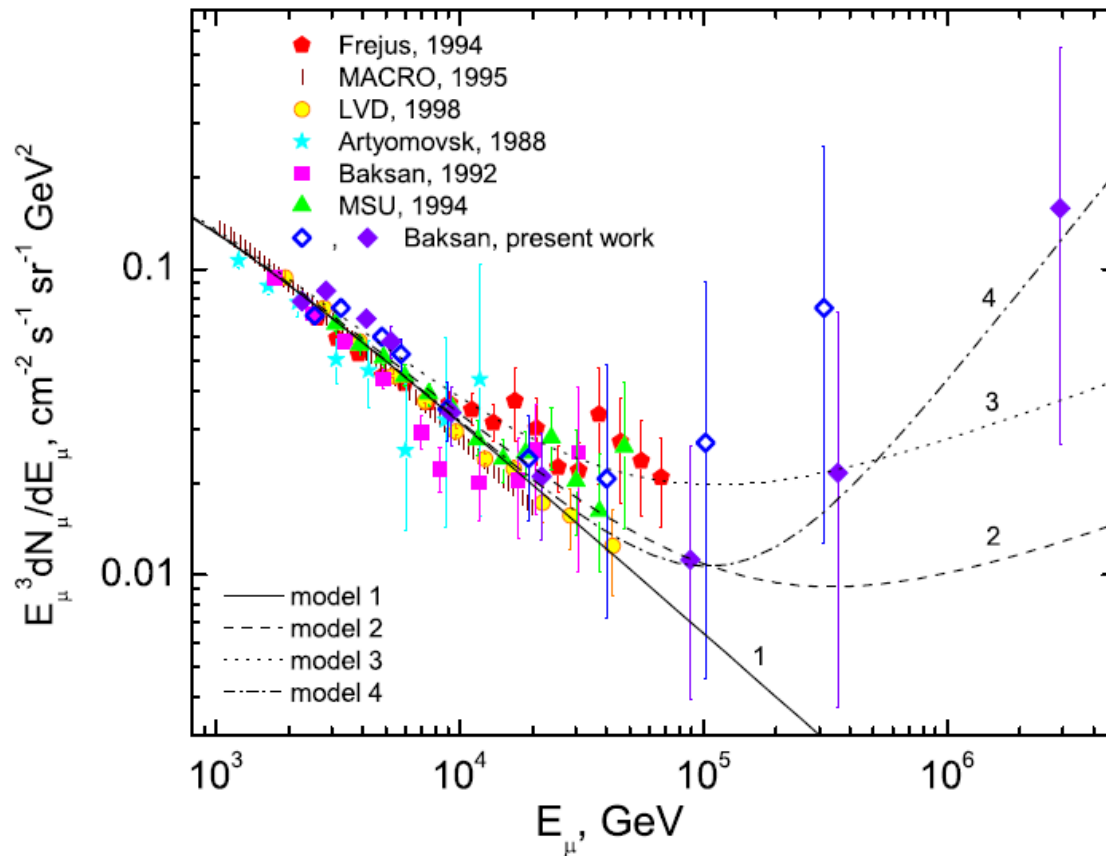


Интегральный спектр по числу мюонных траекторий в БПСТ “Лёгкий” первичный состав



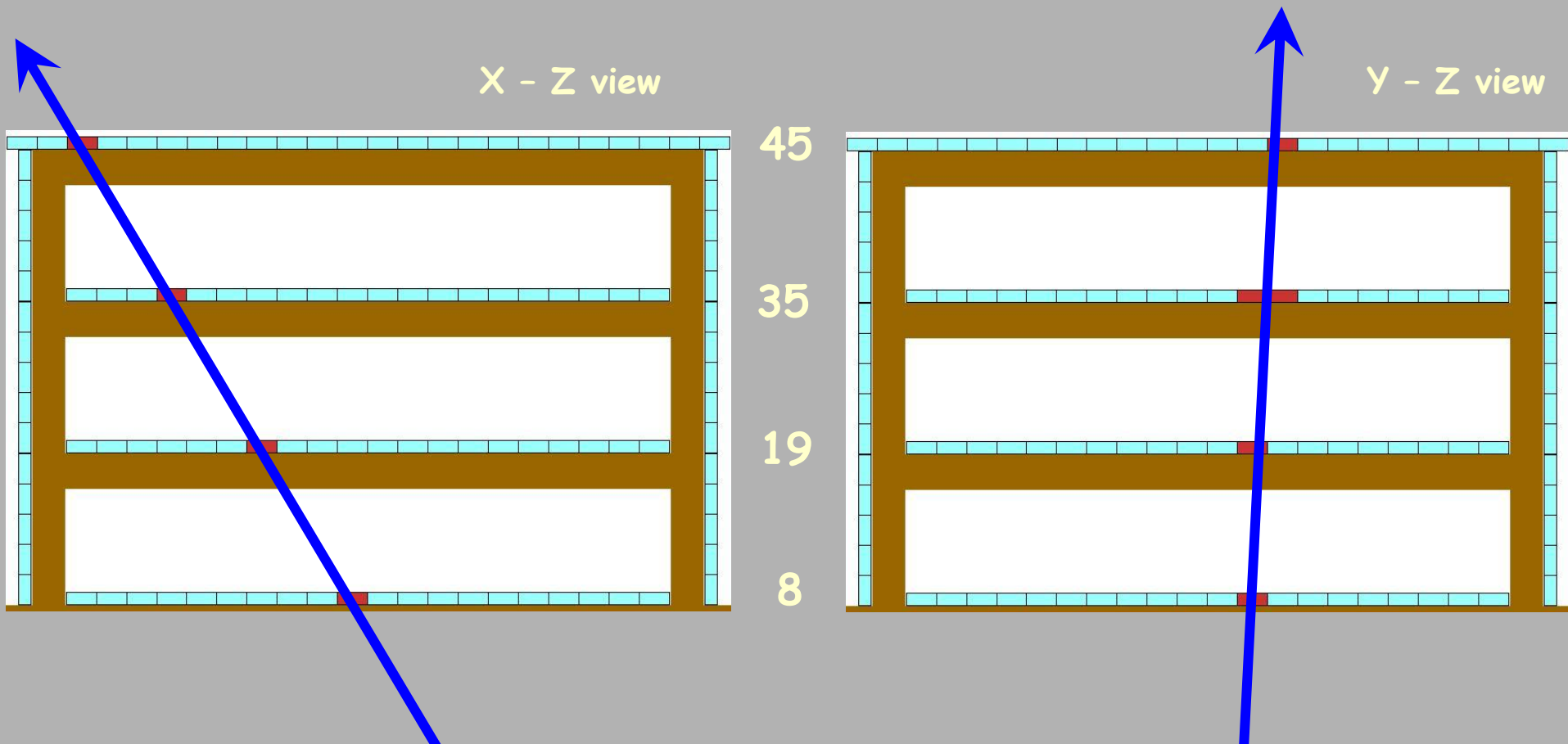
$$E_k(Z) = E_k(p) * Z$$
$$E_k(p) = 2.0 * 10^{15} \text{ eV}$$

Метод кратных взаимодействий:
оценки энергетического спектра мюонов космических лучей в широкой области энергий
(от нескольких единиц ТэВ до сотен ТэВ).

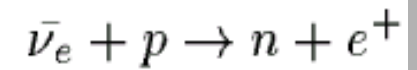
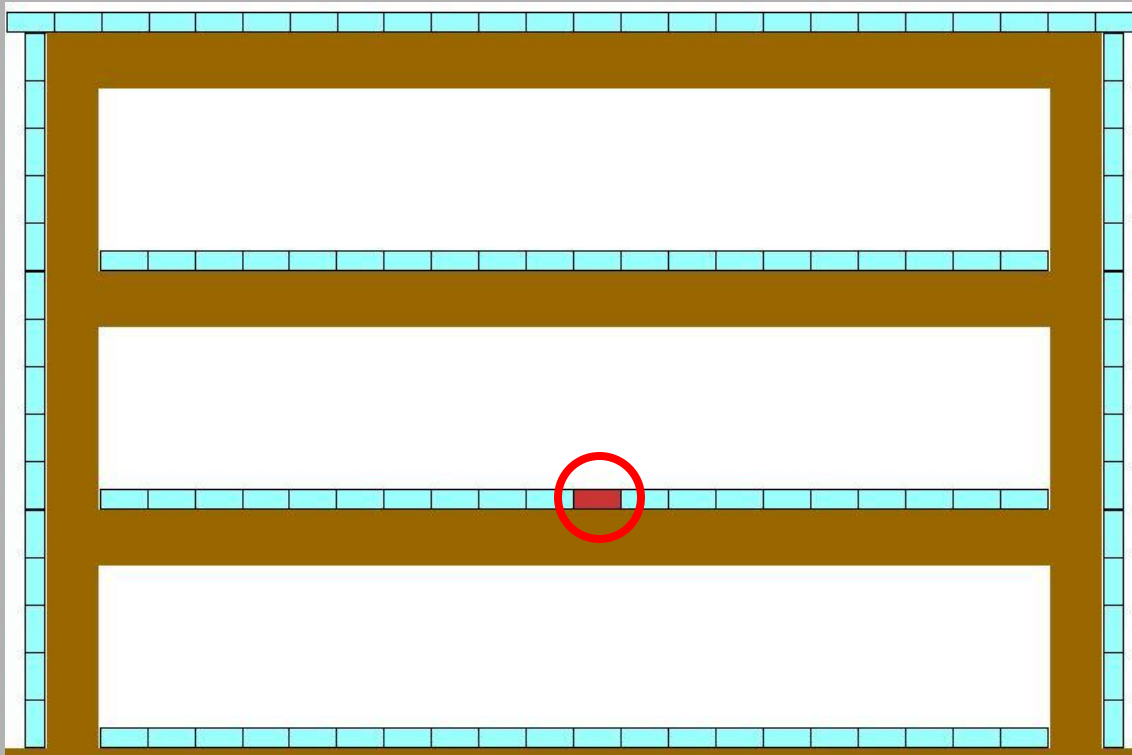


A.G. Bogdanov, R.P. Kokoulin, Yu.F. Novoseltsev, R.V. Novoseltseva, V.B. Petkov, A.A. Petrukhin.
Energy spectrum of cosmic ray muons in ~100 TeV energy region reconstructed from the BUST data
Astroparticle Physics 36 (2012) 224–236

Dec 13 1978: First upward-going muon was observed



Поиск нейтринных вспышек от взрывов сверхновых



30 июня 1980 г. - 31 декабря 2013 г.:

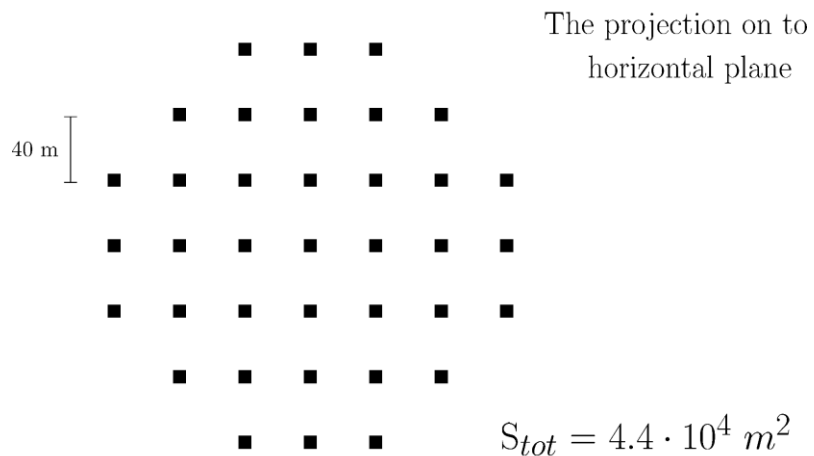
$T = 28.88$ года.

Верхняя граница на среднюю частоту гравитационных коллапсов в нашей Галактике:
 0.080 в год на 90% доверительном уровне.

Р.В. Новосельцева. Первые результаты поиска нейтринных всплесков по совместным данным БПСТ и LVD

М.М. Кочкаров. Нароботка изотопа ^{12}B нейтронами в сцинтилляторе БПСТ и поток нейтронов на глубине 850 г/см^2

Андырчи

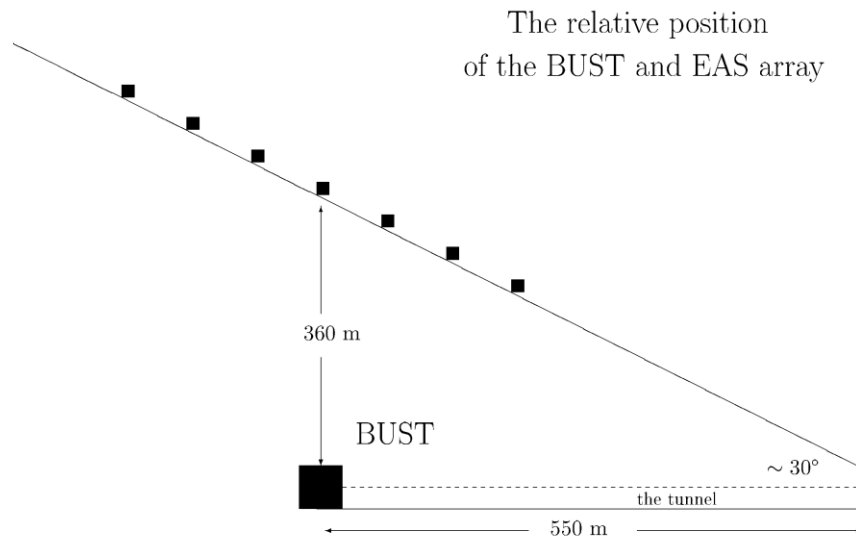


37 plastic scintillation detectors

(1 m × 1 m × 0.05 m)

Shower trigger: ≥ 4 fired detectors

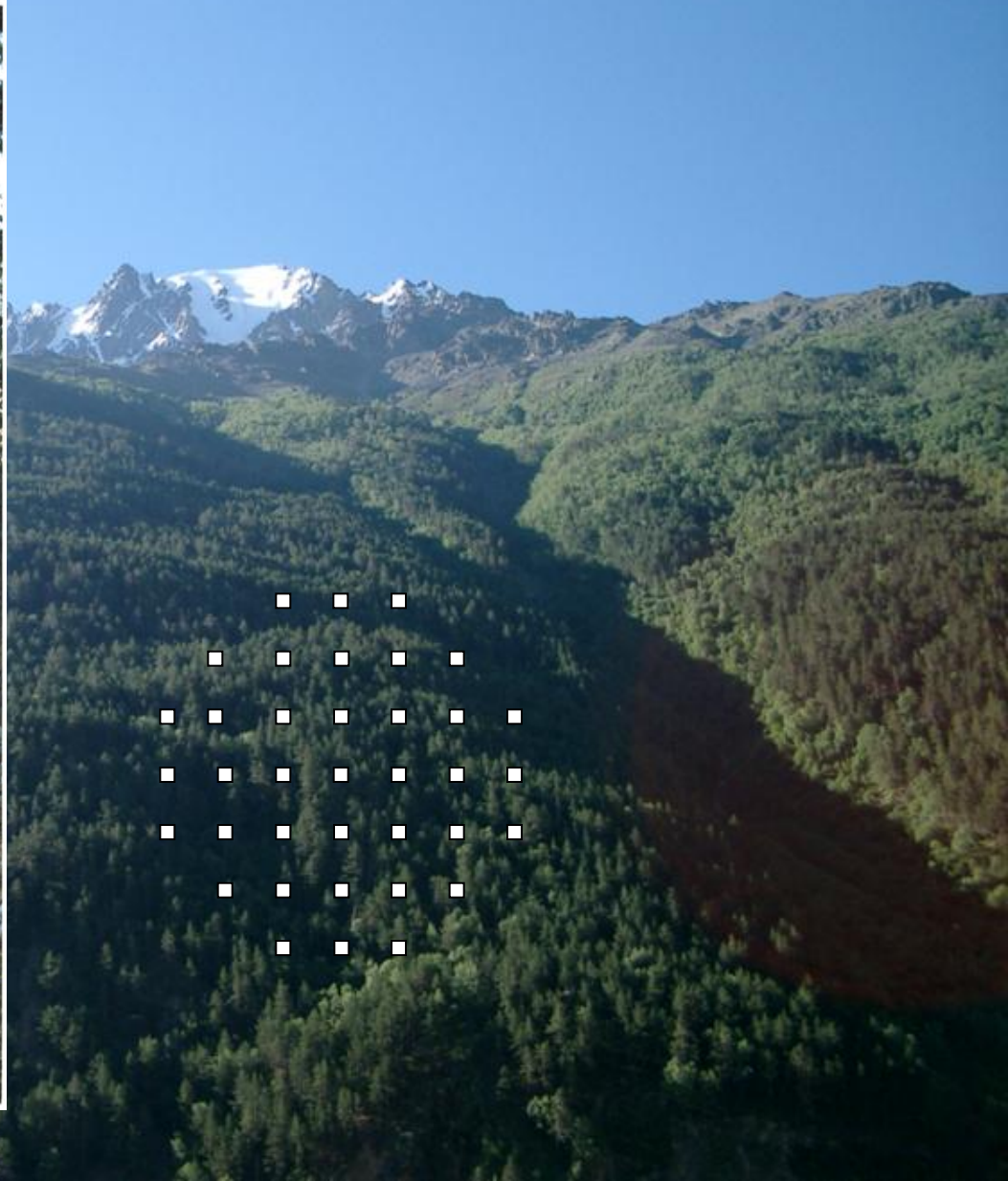
Trigger rate $\approx 9 \text{ sec}^{-1}$



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

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

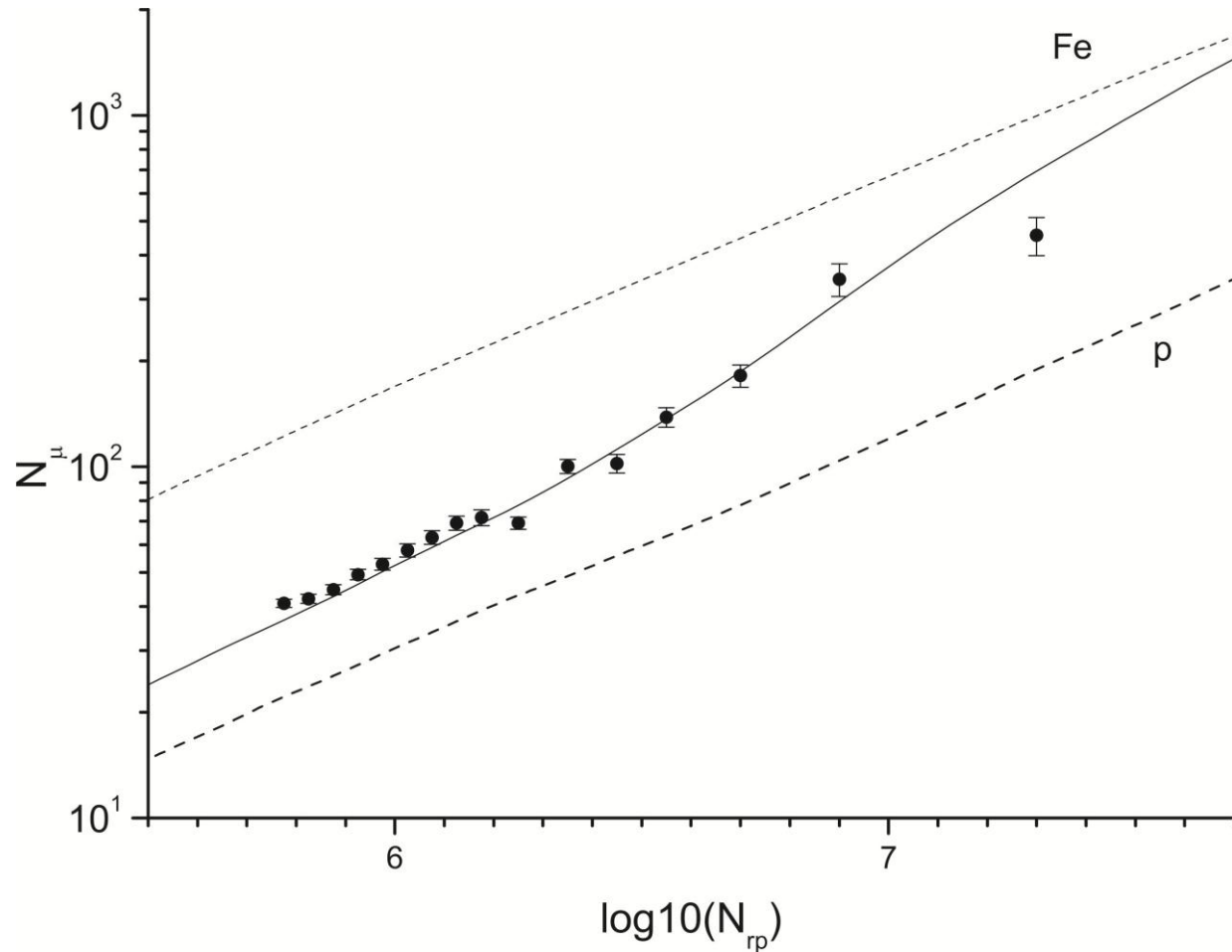
Андырчи



$\langle N_\mu \rangle (N_{rp})$ dependence

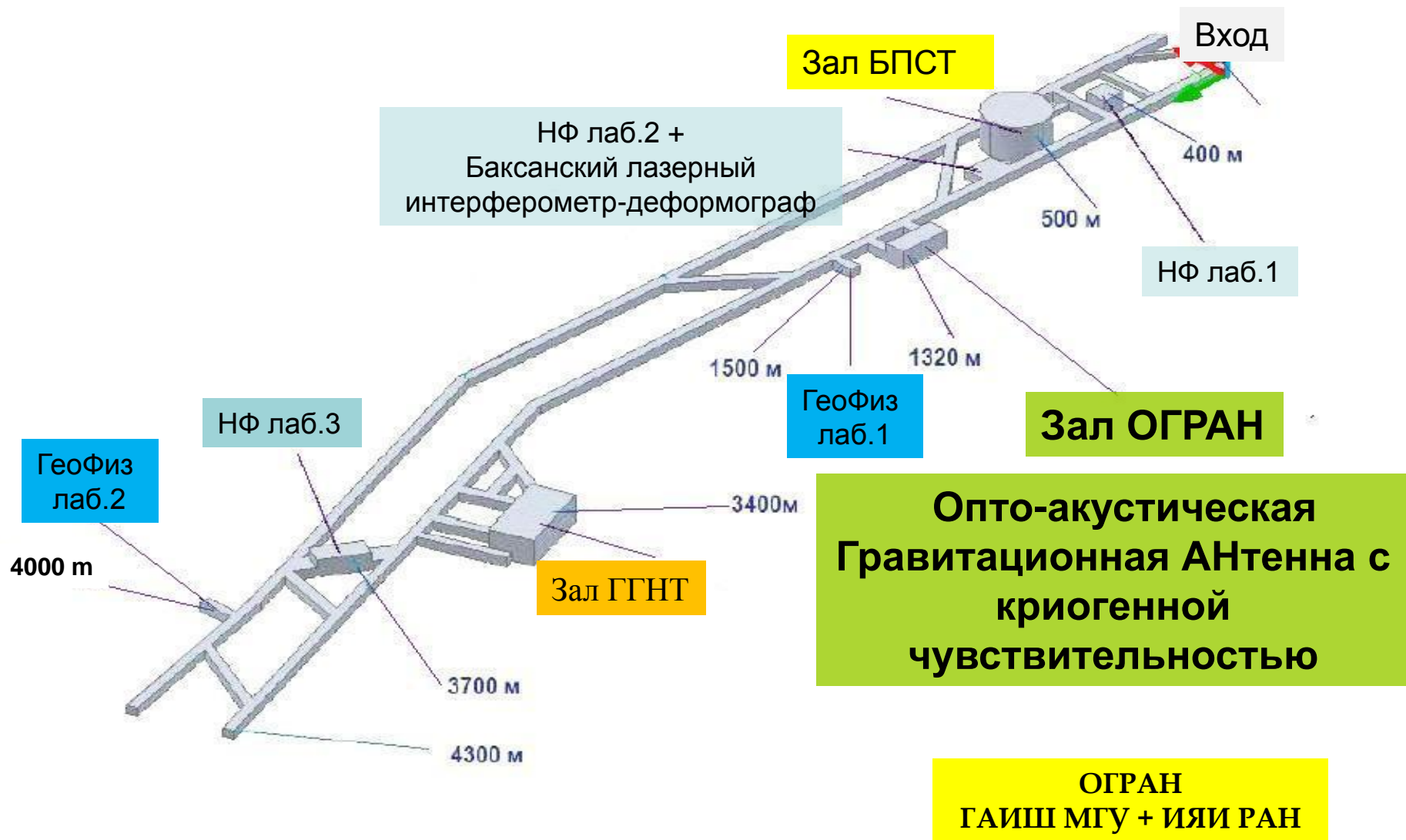
$\sec(\theta) \leq 1.05$, 1996 – 2003, $5.75 \leq \lg N_{r.p.} \leq 7.6$

$T_{\text{live}} = 9.773 \cdot 10^7 \text{ s } (\approx 1131.1 \text{ days})$



Космические лучи + Перспективы.

1. Установка Ковёр-3: изучение области излома.
2. Комплекс установок (БПСТ + Андырчи + Ковёр-3): изучение 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.
3. Поиск нейтринных вспышек от взрывов сверхновых по совместным данным различных установок, напр., БПСТ + LVD + АСД и БПСТ + гравитационная антенна ОГРАН.

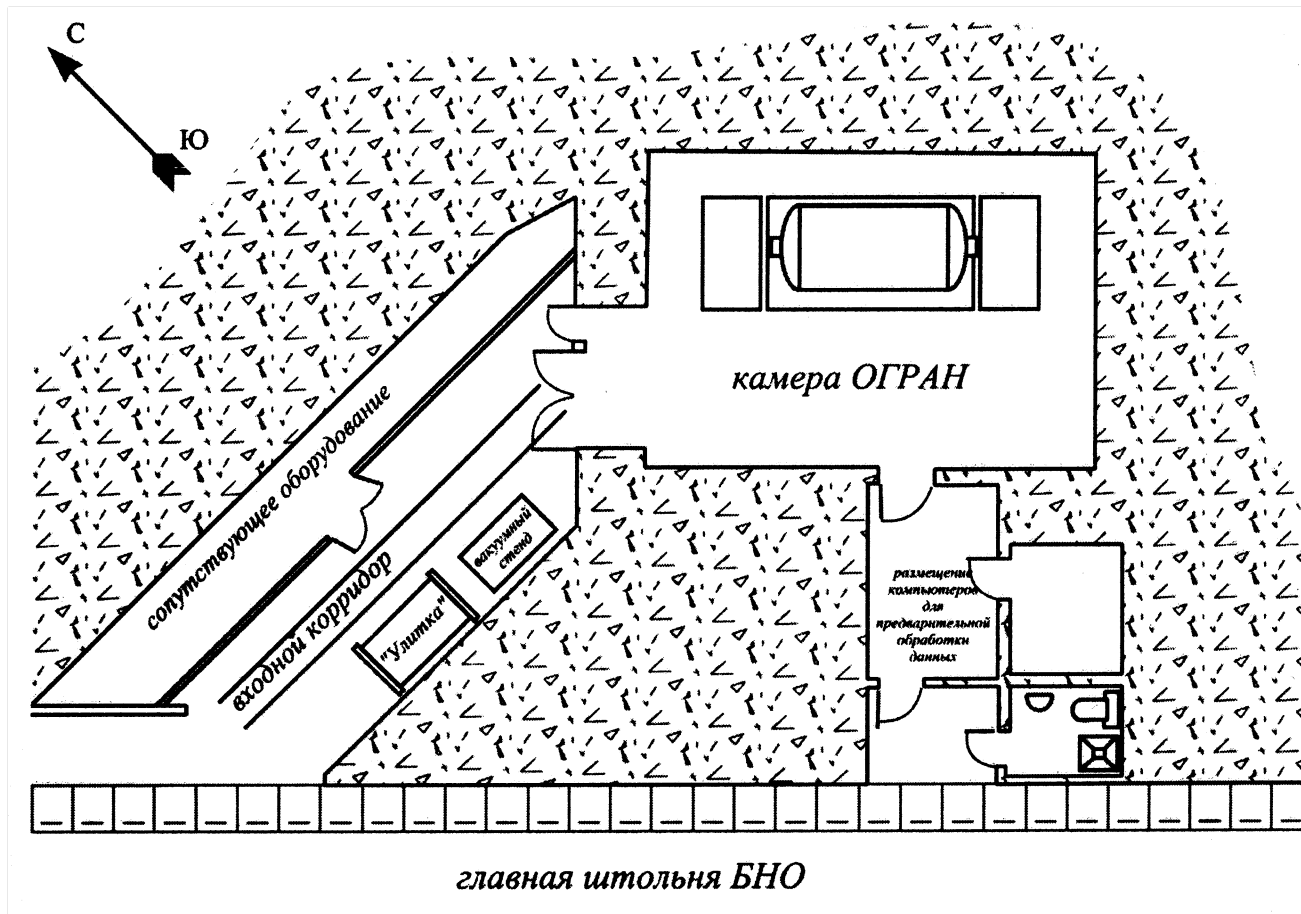


ОГРАН предназначена для регистрации гравитационно-волновых всплесков, от космических катастроф с релятивистскими звездами в Галактике и её ближайшей окрестности (~ 100 кпс).

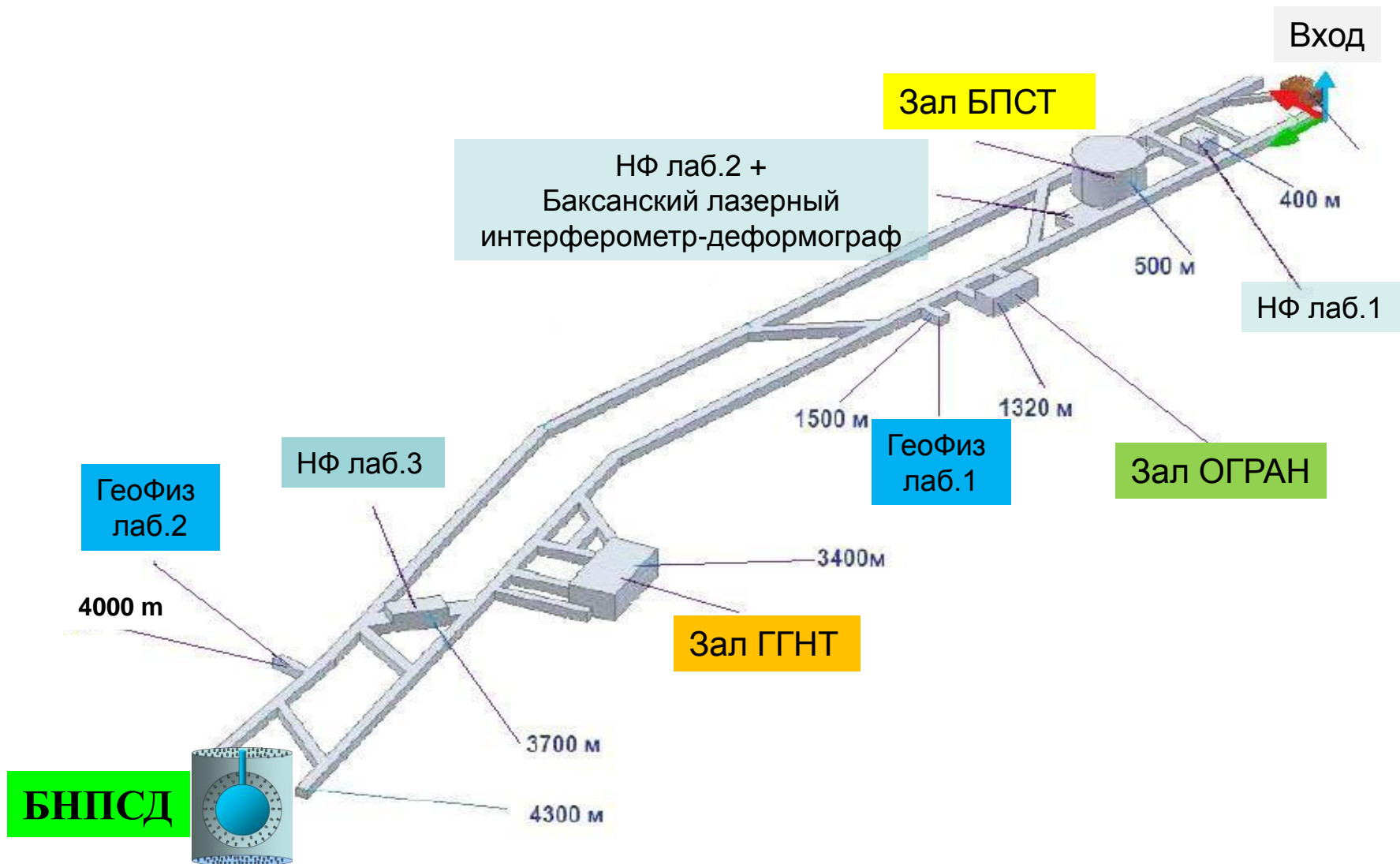


$$S_n \sim 10^{-18}$$

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



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.



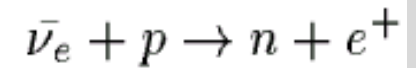
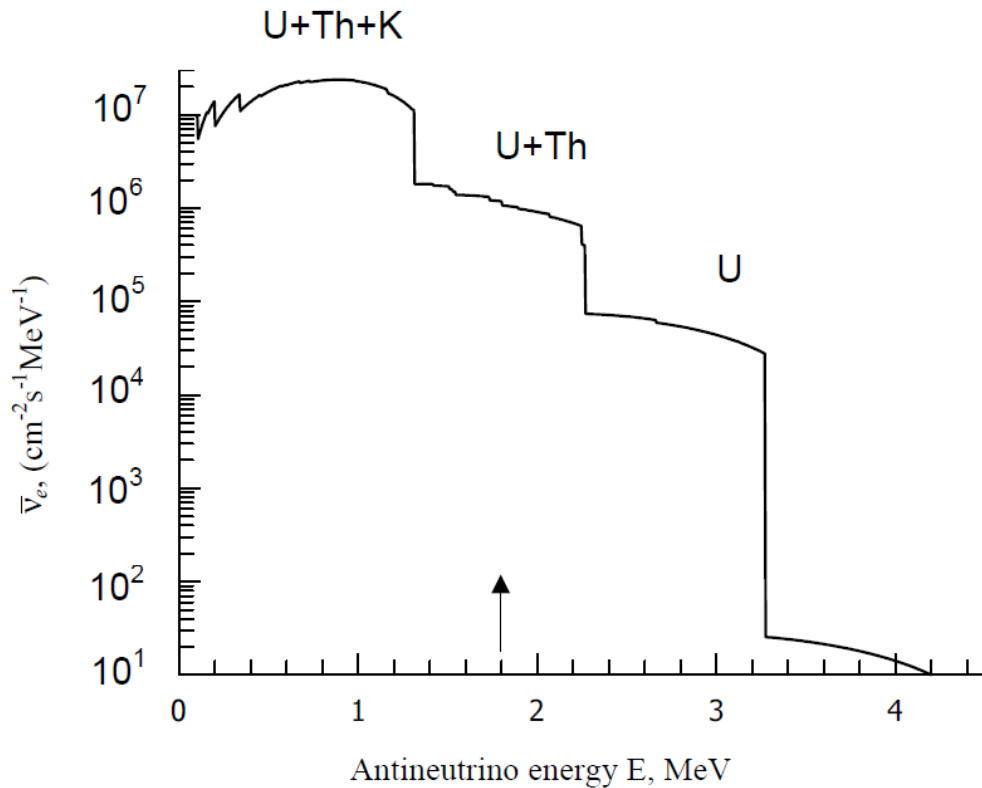
**Большой низкофонный подземный сцинтилляционный детектор
≥ 10 кт**

Сцинтилляционный детектор большого объёма в БНО для нейтринной геофизики и нейтринной астрофизики (≥ 10 кт)

- Геонейтрино: поток нейтрино/антинейтрино от распада радиоактивных изотопов в Земле (^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th).
 1. Изучение потока геонейтрино и определение радиогенной составляющей теплового потока Земли.
 2. Распределение радиоактивных элементов и модель строения Земли.
- Нейтринная астрофизика.
 1. Нейтринные вспышки от взрывов Сверхновых (изучение динамики взрыва сверхновых путем регистрации интенсивности и спектра нейтринной вспышки).
 2. Диффузный нейтринный фон от Сверхновых (~ 2 события на 1 кт в год).

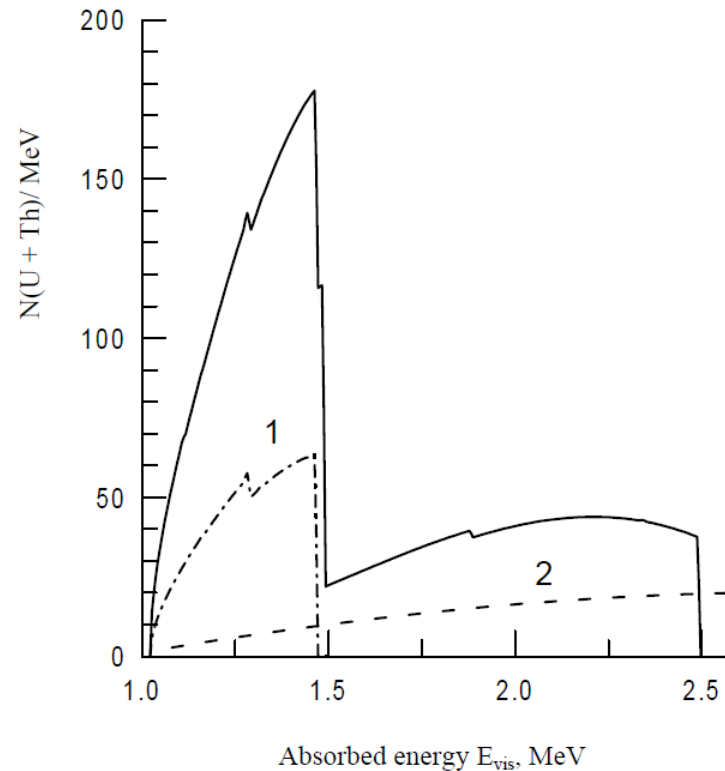
Сцинтилляционный детектор большого объёма в БНО для нейтринной геофизики и нейтринной астрофизики.

Г.В. Домогацкий, В.И. Копейкин, Л.А. Микаэлян, В.В. Синев
ЯФ, т.68, с.70, 2005; ЯФ, т.69, с.46, 2006; ЯФ, т.70, с.1116, 2007.



Энергетический спектр геонейтрино

Сцинтилляционный детектор большого объёма в БНО для нейтринной геофизики и нейтринной астрофизики.



Ожидаемый спектр позитронов от геонейтрино в детекторе БНО, в год для мишени 10^{32} протонов, от U + Th.

1 - Th, 2 - от атомных станций

Geoneutrino effect (1/year) in 1 kt (10^{32} H) at known sites and its ratio to Nuclear reactors background

Site	Mantovani et al, 2004	Enomoto 2005	Sinev et al., 2009	With the core	$R = N_{\text{geo}} / N_{\text{reactor}}$
Hawaii	12.5	13.4	15.99	20.8	10
Kamioka	34.8	36.5	33.2	38.2	0.15
Gran Sasso	40.5	43.1	41.7	47.1	1.1
Sudbury	49.6	50.4	52.2	57.5	0.9
Pyhäsalmi	52.4	52.4	55.4	60.5	2.0
Baksan	51.9	55.0	55.1	61.8	5.0
Himalaya	60.0	-	72.8	83.2	-

Большой низкофоновый подземный
сцинтилляционный детектор:
подготовка задания на проведение НИР (разработка
методов и технологий контроля радиоактивной
чистоты материалов и их очистки)

- Выбор оптимального варианта сцинтиллятора (высокие значения светового выхода и прозрачности, хорошие временные характеристики, низкое содержание примесей радиоактивных элементов, инертность по отношению к конструкционным материалам, возможность производства в больших количествах при низкой стоимости).
- Исследование пригодности подземных условий БНО для размещения БНПСД.
- Исследование фоновых условий в месте размещения БНПСД и разработка методов снижения уровня фона до требуемых уровней.
- и т.д.

Спасибо за внимание!

