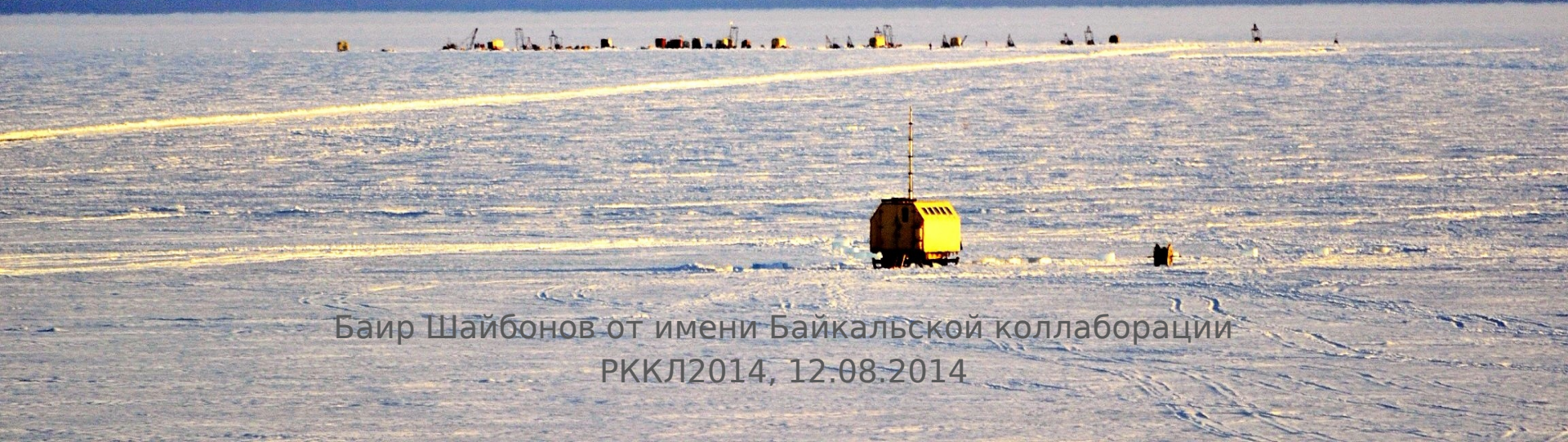


Байкальский глубоководный нейтринный эксперимент

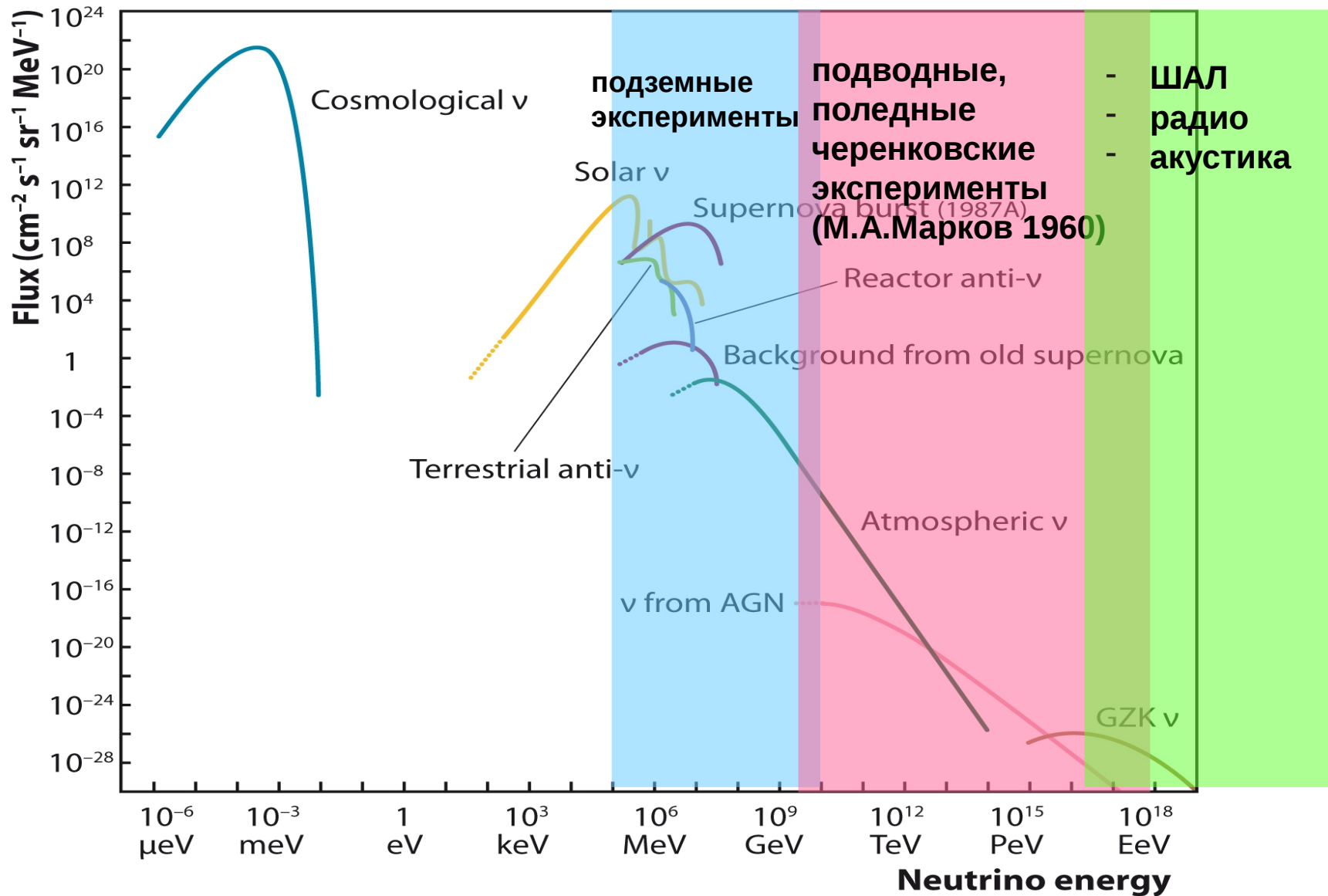


Баир Шайбонов от имени Байкальской коллаборации
РККЛ2014, 12.08.2014

Содержание

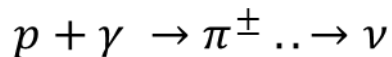
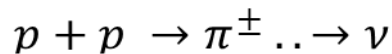
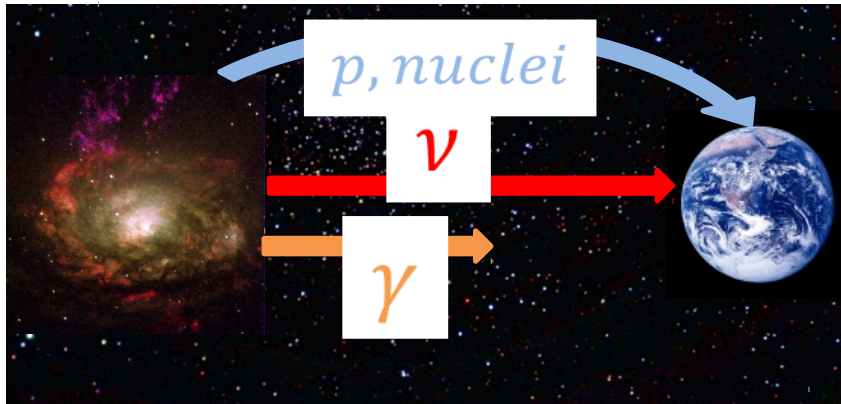
- Краткое введение
 - Нейтрино высоких энергий в астрономии и астрофизике
 - Детектирование нейтрино высоких энергий
 - Новый этап в нейтринной астрономии высоких энергий: результаты эксперимента IceCube
- Озеро Байкал, как благоприятное место для исследований
- От телескопа НТ-200 к телескопу НТ-1000 следующего поколения
 - Техническая часть: ФЭУ, триггерная система, система сбора данных
 - Калибровка, восстановление событий
- Заключение

Природные потоки нейтрино



Нейтрино высоких энергий в астрономии и астрофизике

Почему нейтрино?



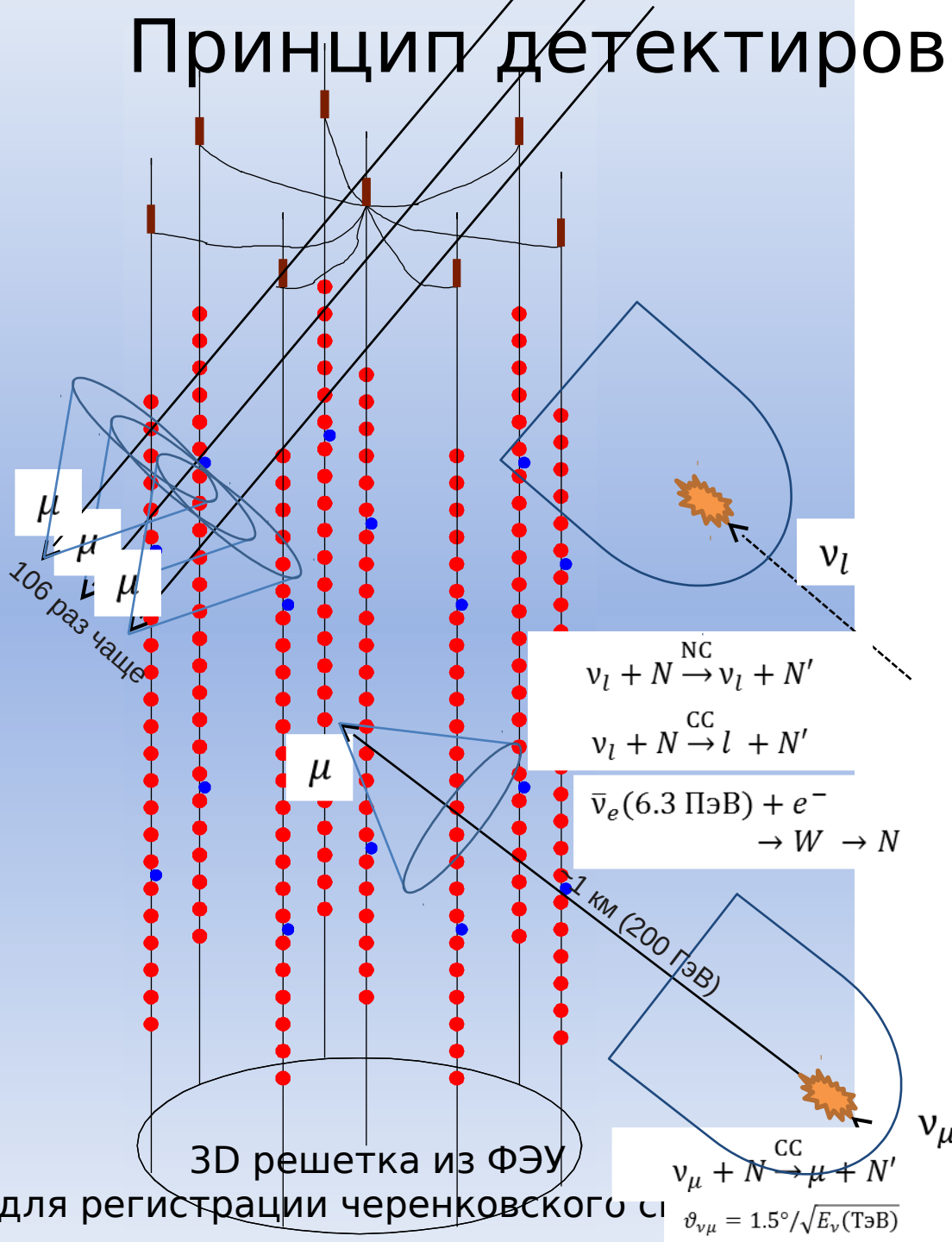
- Регистрация нейтрино от космического объекта - свидетельство ускорения в нем космических лучей
- Нейтрино может проникать через толщи вещества вокруг источника, через которые другие частицы проникать не могут → внутреннее строение

Предполагаемые источники нейтрино:

- Галактические источники:
 - Центр Галактики
 - Остатки сверхновых
 - Двойные системы
 - Пульсары
 - Молекулярные облака
- Внегалактические источники:
 - Активные ядра галактик
 - Гамма всплески
- Аннигиляция WIMP
- Космологические нейтрино БЗ

Принцип детектирования нейтрино

М.А.Марков, ICHEP196

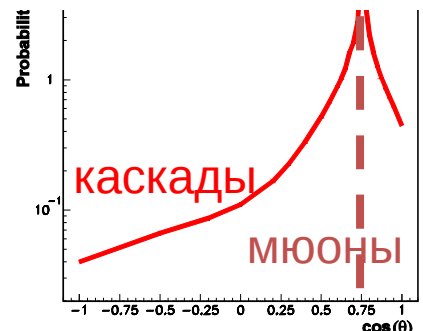


Мюоны от нейтрино:

- Длинный трек в установке
- ФЭУ срабатывает < 20 м от трека (200 фотонов на см)
- Субградусная точность восстановления направления трека
- Невысокая точность восстановления энергии
- Вершина взаимодействия нейтрино может находиться в нескольких км от

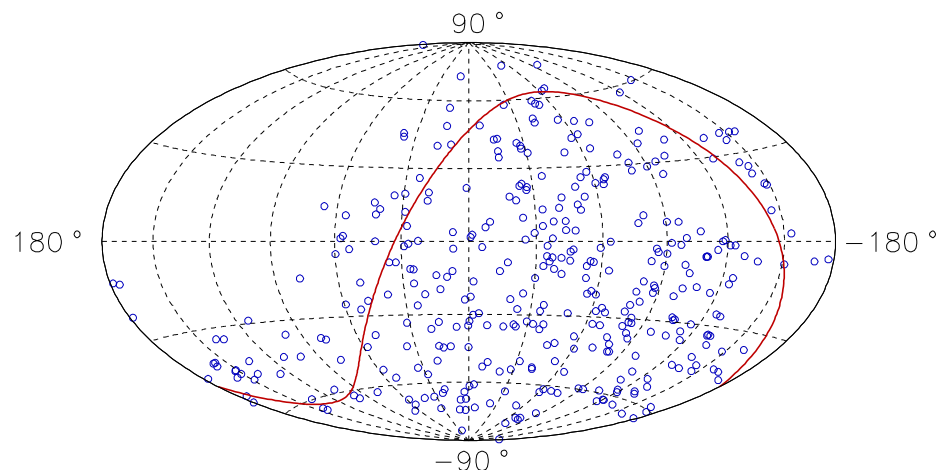
Ливни от нейтрино:

- Во всех остальных 5 реакциях рождаются ливни без мюона
- Квазиточечный анизотропный источник света в установке
- ФЭУ срабатывает в 100 м от 100 ТэВ ливня ($I \approx 10^8 * E(\text{ТэВ})$ фотонов)
- Относительно невысокая точность восстановления направления ливня ($3^\circ - 6^\circ$)
- Относительно высокая точность восстановления энергии

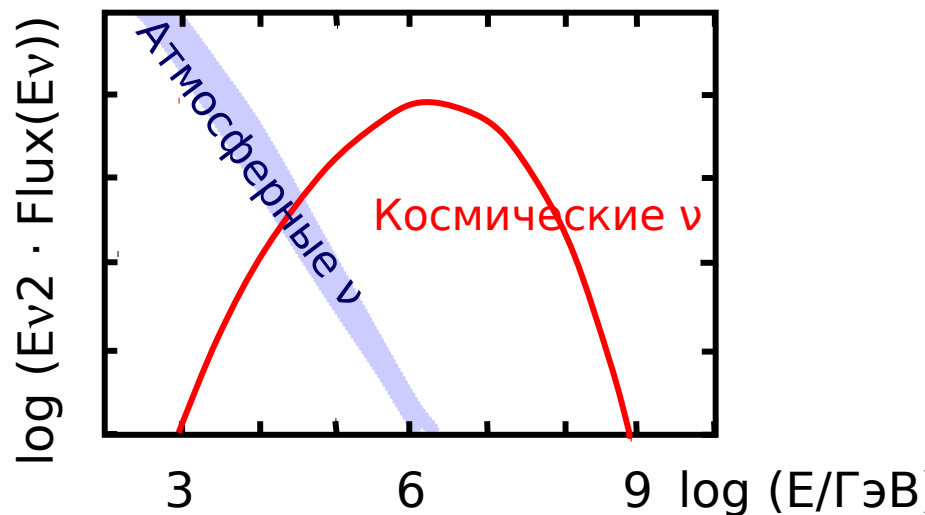


Выделение космических нейтрино на фоне атмосферных мюонов и нейтрино

- По направлению прихода нейтрино с определенного участка небесной сферы из-под горизонта
- По превышению числа событий в высокоэнергичной части спектра зарегистрированных нейтрино над ожидаемым числом событий от атмосферных мюонов и нейтрино (атм. поток ν_e примерно в 20-50 раз меньше атм. потока ν_μ)



Карта неба: Байкал НТ-200 (1998-2002)

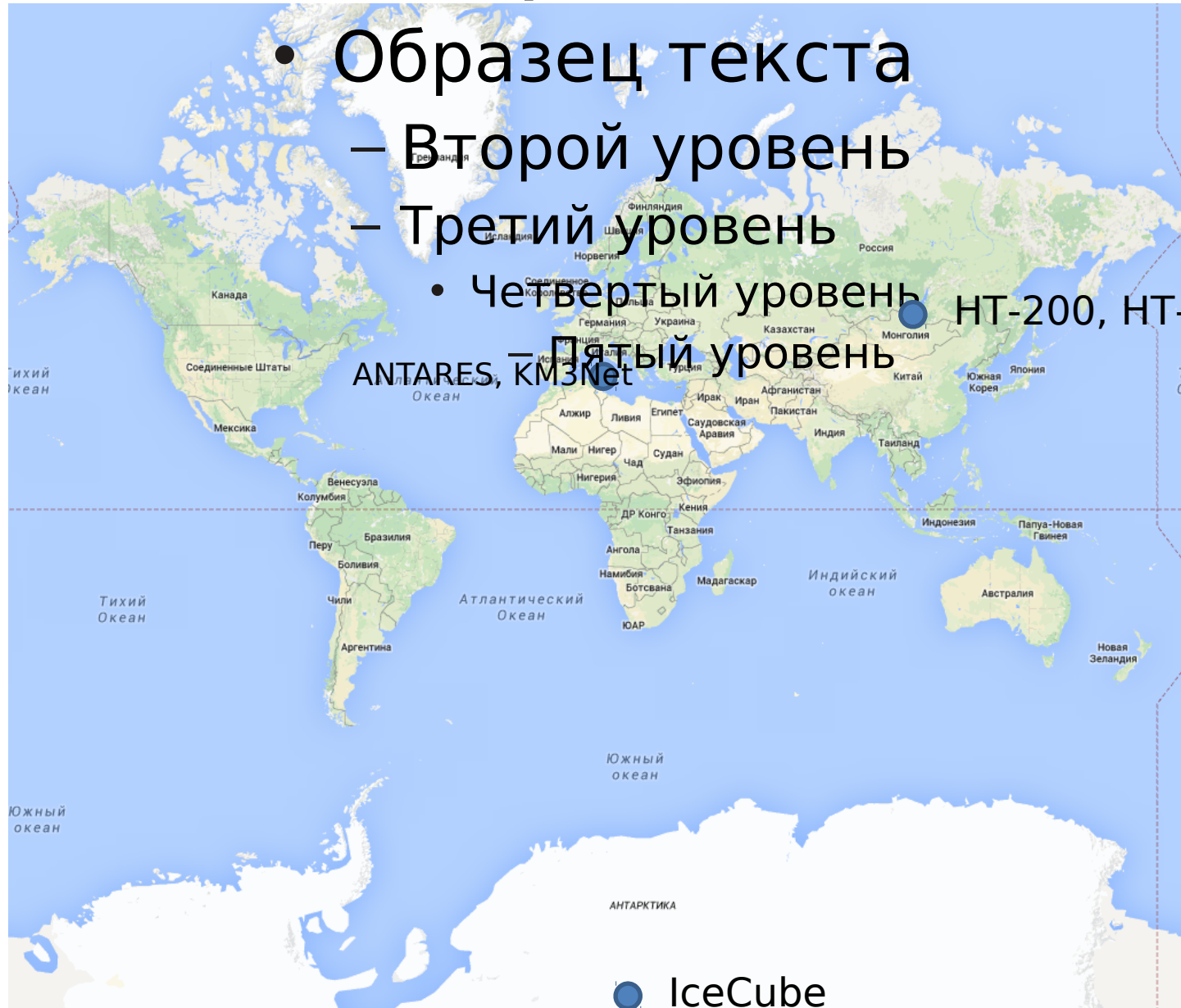


Многофункциональный эксперимент

- Нейтринная астрофизика высоких энергий
- Непрямой поиск темной материи
- Нейтринная физика (плотная установка):
 - изучение осцилляций в потоках ускорительных и атмосферных нейтрино (эффект осцилляций нейтрино в веществе, иерархия масс нейтрино)
- Нейтринная астрофизика низких энергий:
 - нейтрино от вспышек сверхновых
- Поиск гипотетических частиц: магнитные монополи итд
- Геофизика: нейтринная томография Земли (~10 км³)
- Лимнология, экология

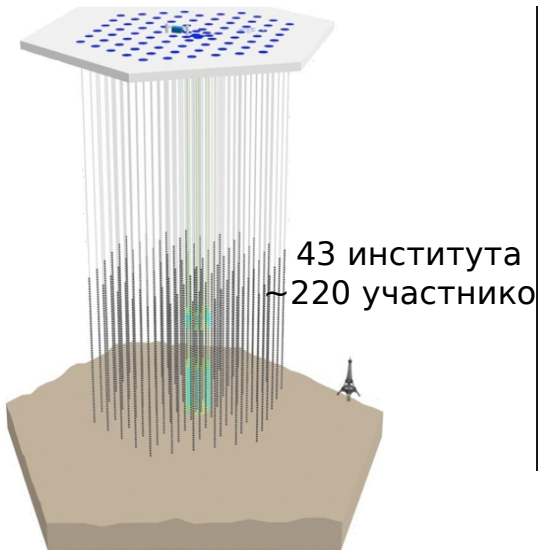
Эксперименты

- Образец текста
 - Второй уровень
 - Третий уровень
 - Четвертый уровень NT-200, NT-1000
 - Пятый уровень ANTARES, KM3Net

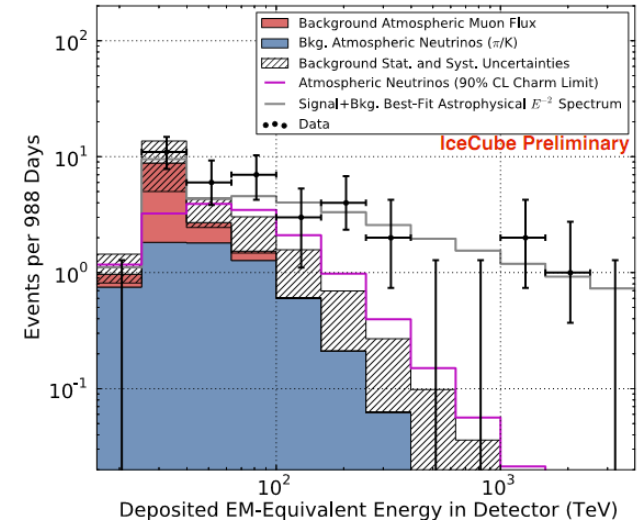
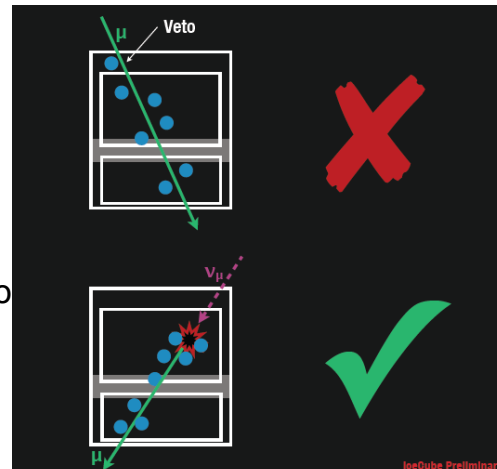


Прорыв: результаты IceCube

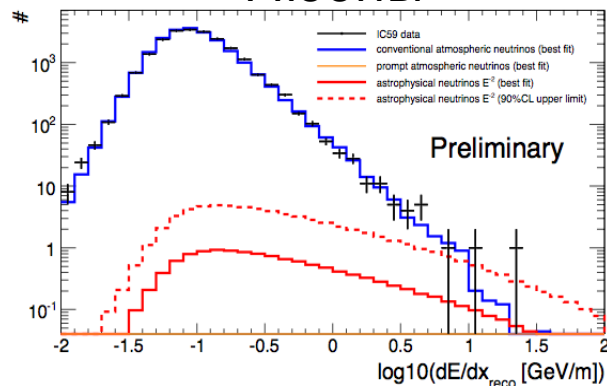
Южный полюс
Геом. объем 1 км³



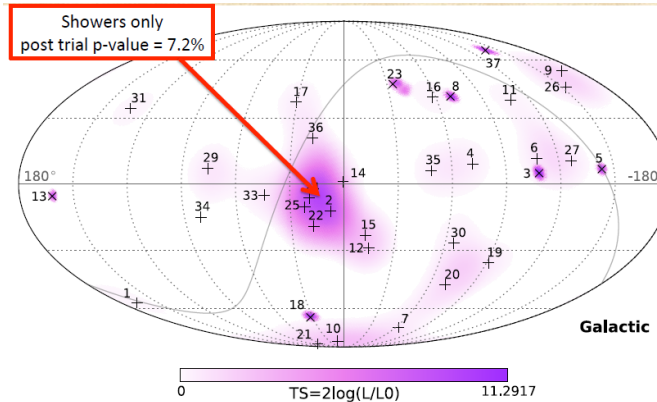
ЛИВНИ



Мюоны



IC-59: 1.8σ



420 Мт эфф. объема
37 соб. за 3 года (28 ливней,
9 ливней + мюон) 30 ТэВ < E <
2 ПэВ

Фон:

- 8.4 ± 4.2 атм. μ
- $+5.9$
 -1.6 6.6 атм. ν
- атм. ν

$E^2 \Phi = 0.95 \pm 0.30 * 10^{-8}$ ГэВ с⁻¹ стер⁻¹ см⁻²
- На один аромат нейтрино

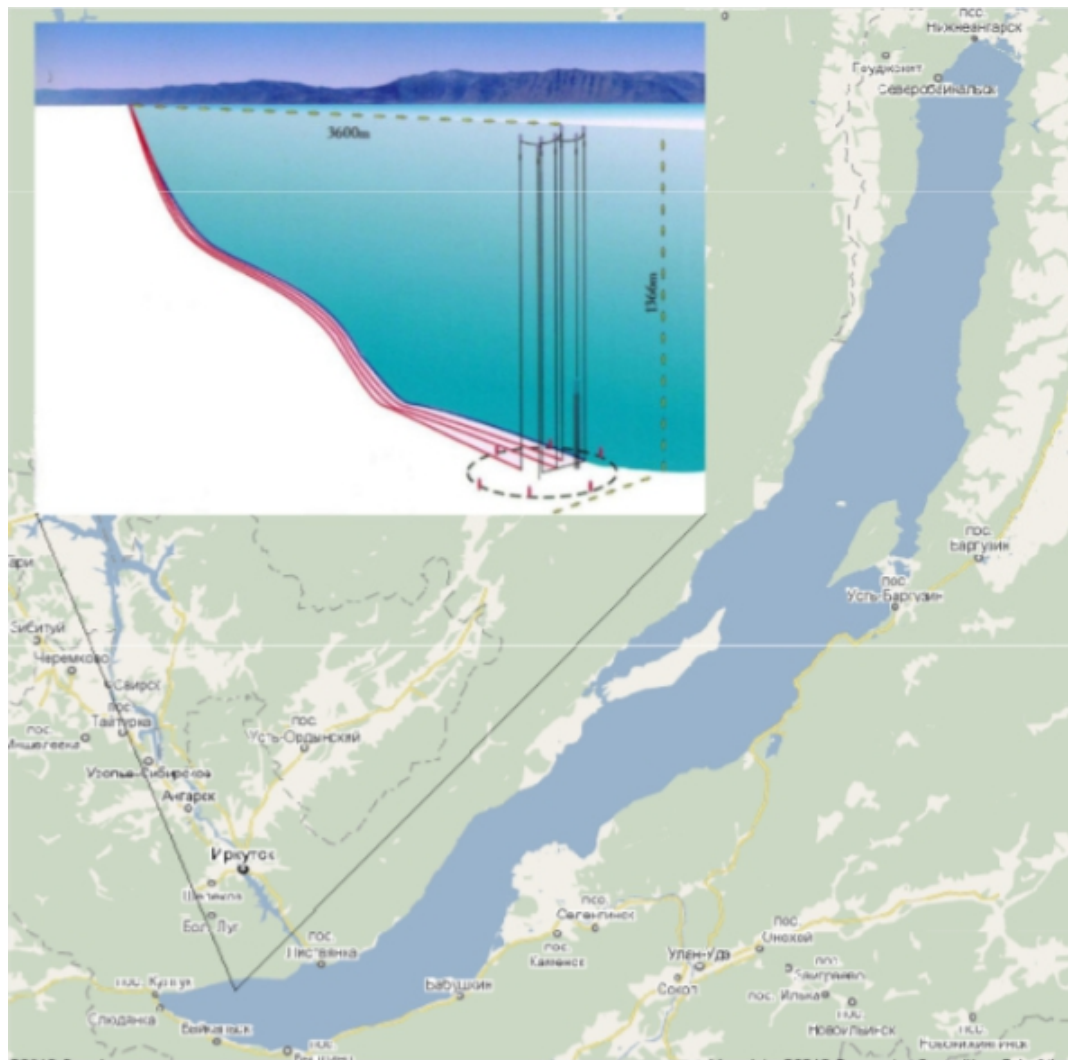
Байкальский нейтринный эксперимент

Байкальская коллаборация

55 физиков и инженеров

- Институт ядерных исследований РАН, Москва
- Объединенный институт ядерных исследований, Дубна
- Иркутский государственный университет, Иркутск
- Институт ядерной физики им. Скобельцына, Москва
- Нижегородский гос. техничекий университет, Н.Новгород
- С-Петербургский гос. морской университет, С.Петербург
- Курчатовский институт, Москва
- EvoLogics GmbH, Berlin

Место проведения эксперимента



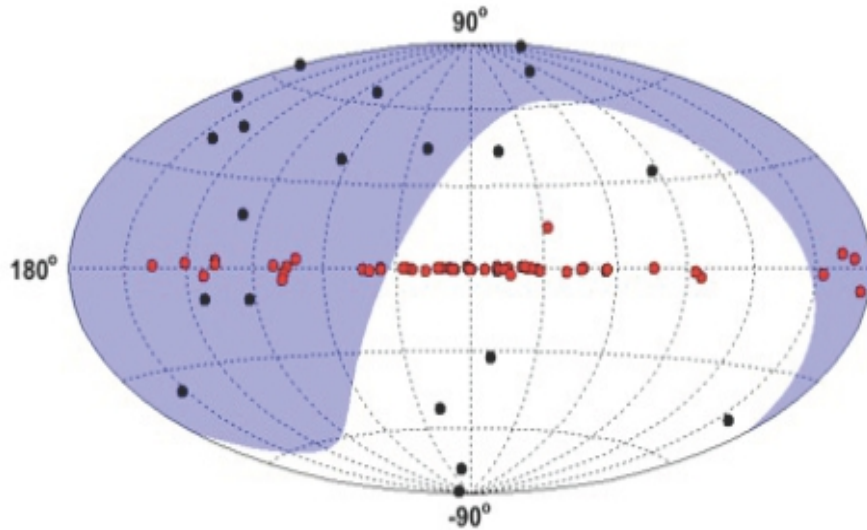
- Глубина 1366 м на небольшом расстоянии от берега (3.6 км)
- Развитая инфраструктура (ж/д, ЛЭП)
- Пресная вода (простота механических решений, нет фонового свечения от К40)
- Нет биолюминесценции, носящей вспышечный характер
- Прочный ледовый покров в течение 2 месяцев в году

События из-под горизонта

Visibility South Pole (IceCube)

■ 100%

□ 0%

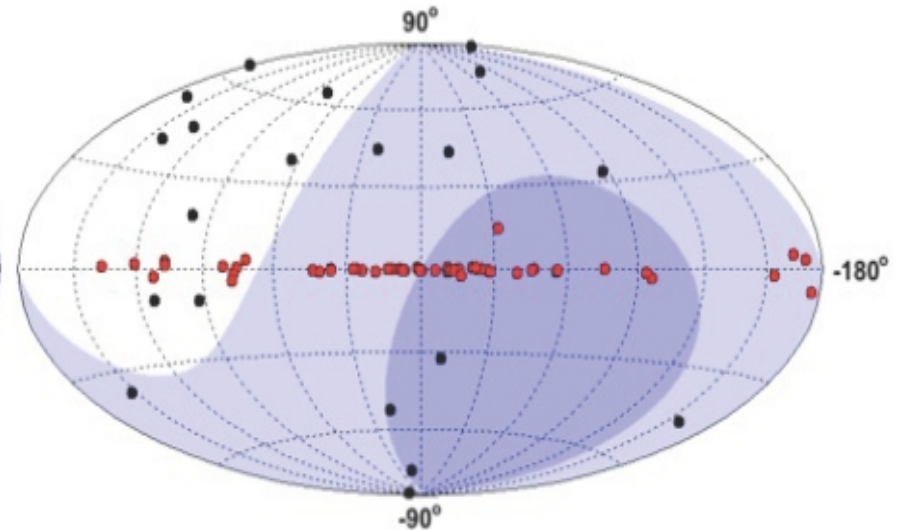


Lake Baikal

■ > 75%

■ 25% – 75%

□ < 25%

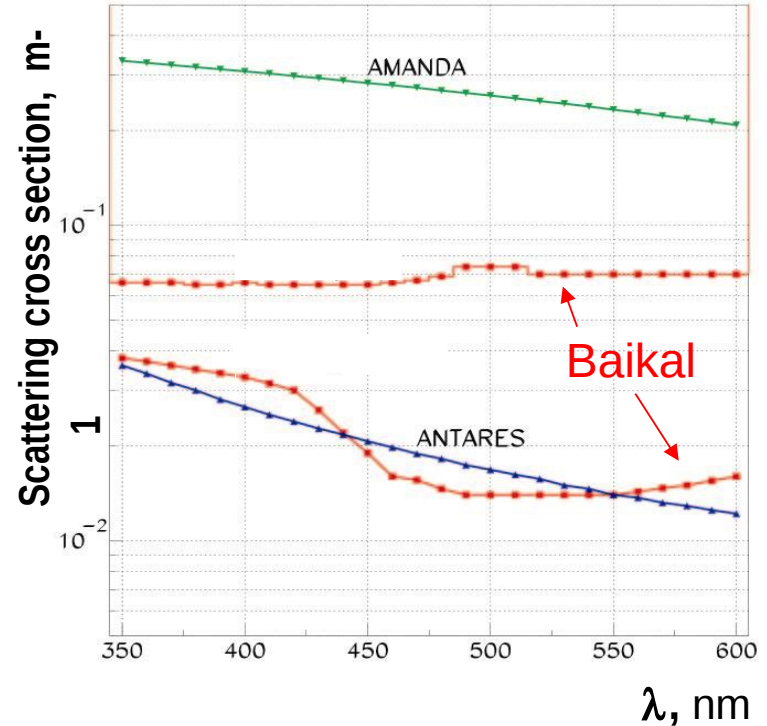
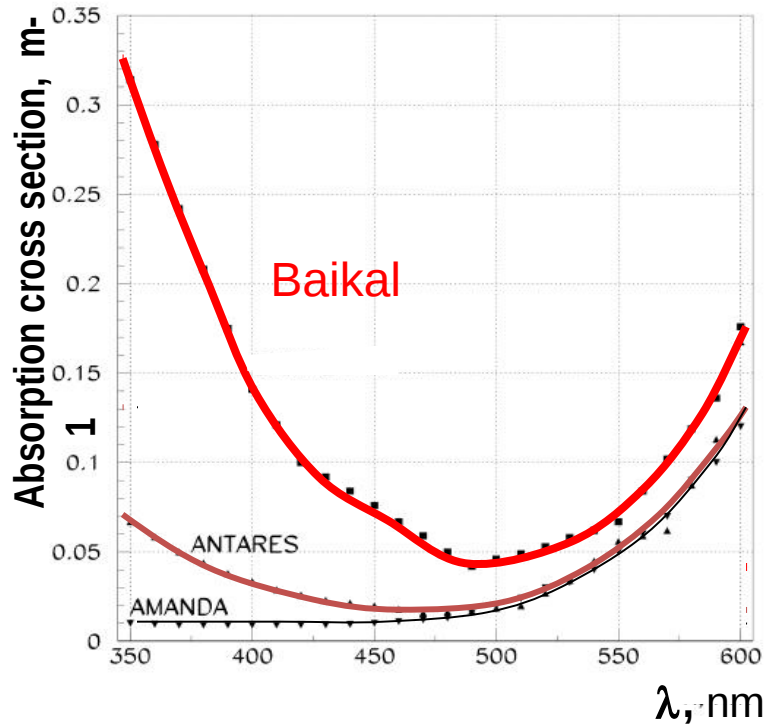


TeV gamma-ray sources

● Galactic

● extragalactic

Оптические свойства воды



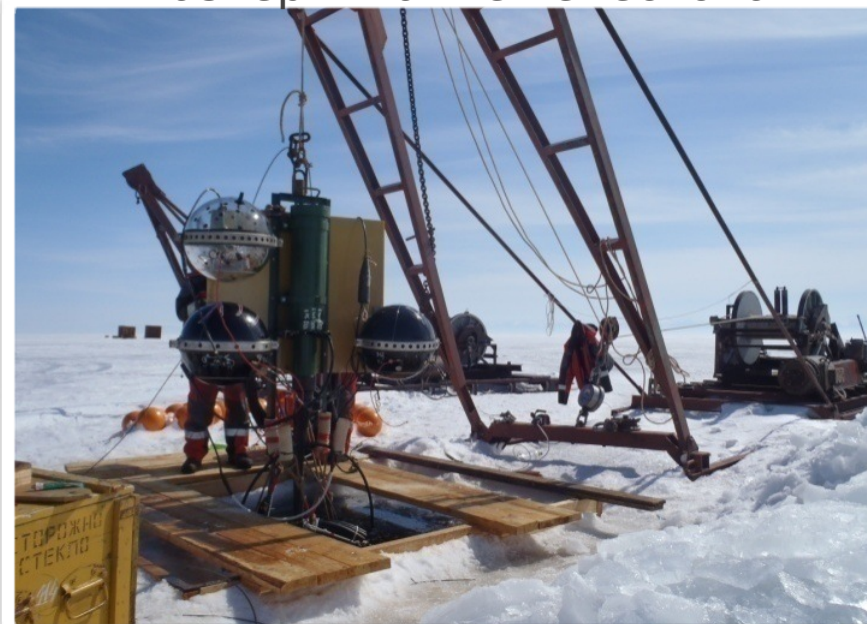
Длина поглощения: 22 ± 2 м Длина рассеяния: 30-50 м
 $\langle \cos\theta \rangle$: 0.85 - 0.90

Развертывание установки

Прокладка донного кабеля



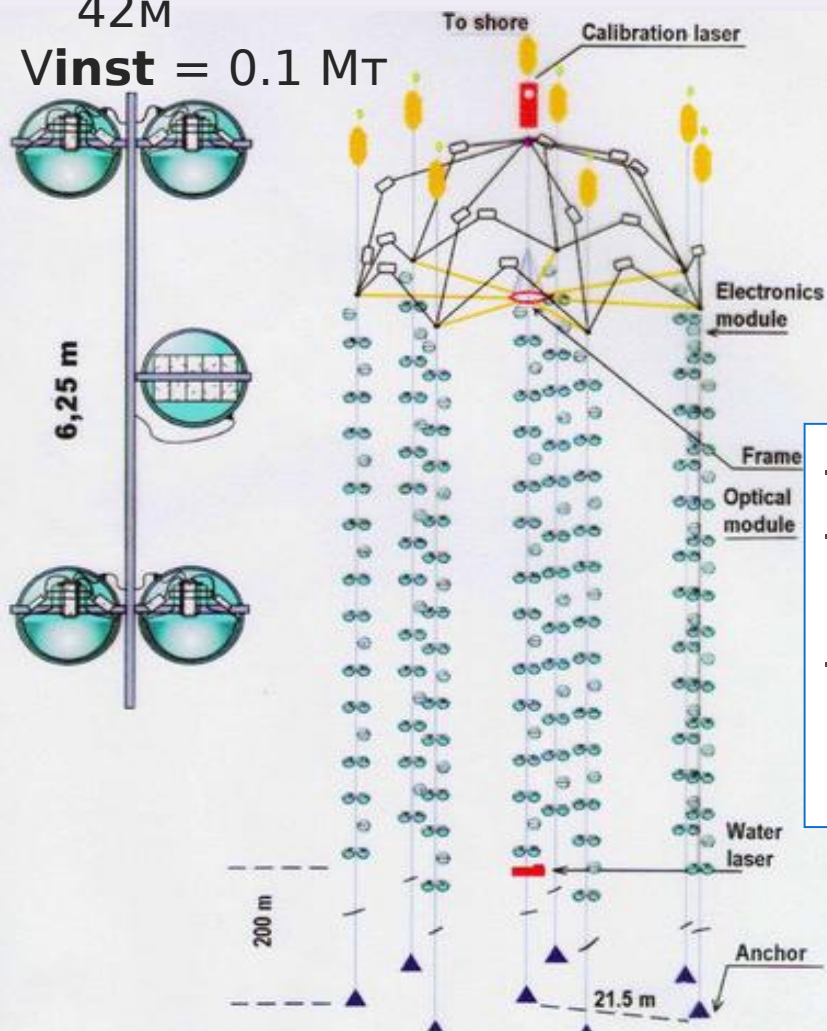
Развертывание телескопа



Телескоп NT200

1. **NT200**: Высота = 70м, Диаметр = 42м

Vinst = 0.1 Мт



Гибридный ФЭУ «Квазар»: 37см (14.6"),
грибовидная форма, V = 15 кВ



- 8
- 1
=
- р
че

$$E^2\Phi = 0.95 \pm 0.30 * 10^{-8} \text{ ГэВ с}^{-1} \text{ стер}^{-1} \text{ см}^{-2}$$

- На один аромат нейтрино

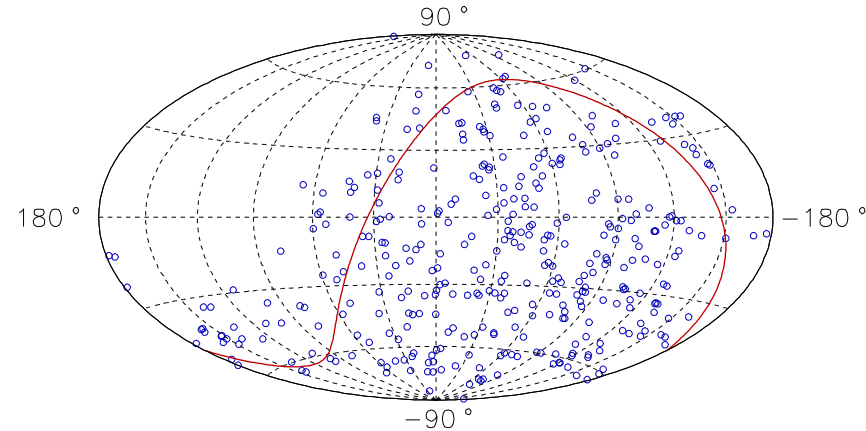
ей
в
да

2. **NT200+** : 3 внешних гирлянды по 6 ОМ на

Энерг. порог: ~ 15 ГэВ
Эфф. площадь: ~ 2000 м² (1 ТэВ)
Эфф. объем: ~ 0.2 Мт (10 ТэВ)
~ 1 Мт (1 ПэВ)

NT200: Результаты

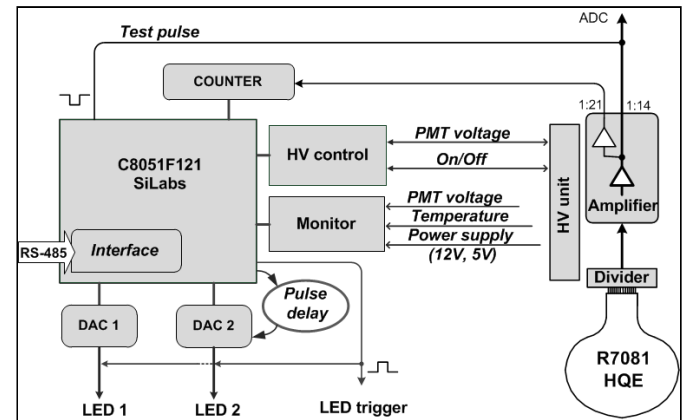
- Возможность проведения такого рода эксперимента, первые нейтрино, полученные методом глубоководного детектирования
- Атмосферные нейтрино ~ 400 соб.
- Поиск локальных источников нейтрино
- Поиск диффузного потока нейтрино $\Phi < 1.0 \times 10^{-7} \text{ ГэВ}^{-1} \text{ см}^{-2} \text{ стер}^{-1}$
- Поиск нейтрино, скоррелированных с гамма вспышками
- Поиск нейтрино от темной материи
 - по направлению на Центр Земли
 - по направлению на Солнце
- Поиск релятивистских магнитных монополей



$$\Phi < 1.0 \times 10^{-7} \text{ ГэВ}^{-1} \text{ см}^{-2} \text{ стер}^{-1}$$
$$20 \text{ ТэВ} < E < 20 \text{ ПэВ}$$

Оптический модуль

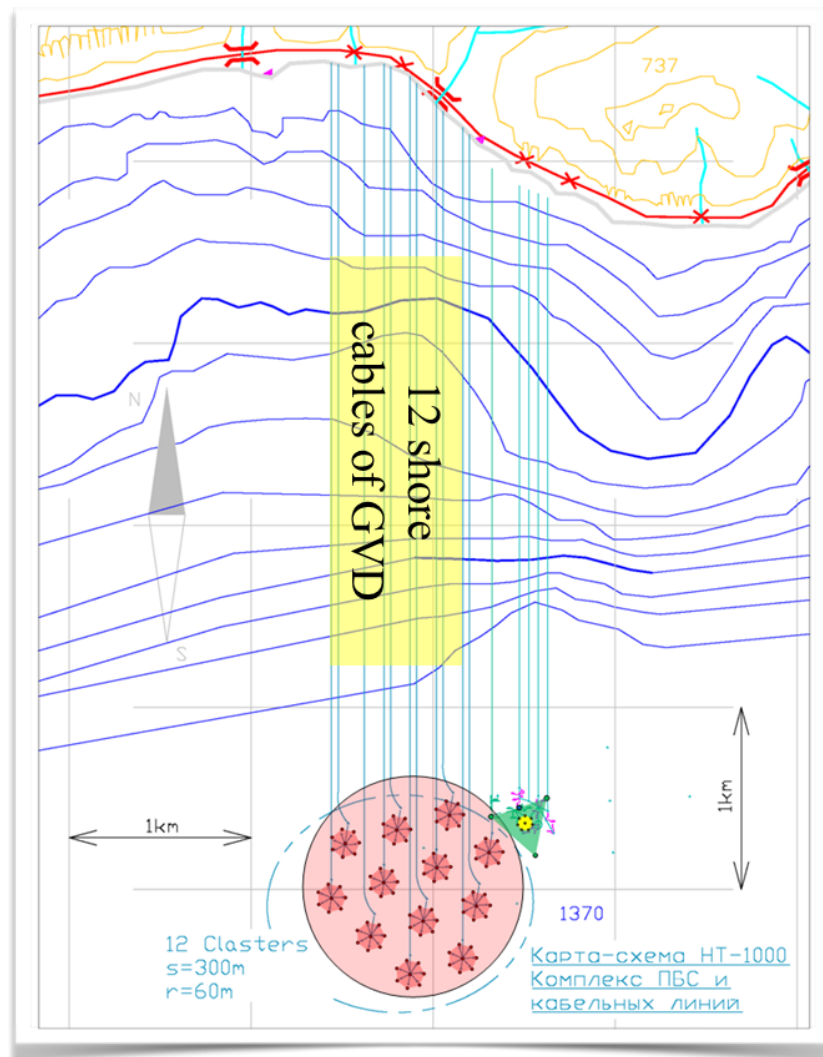
- **Оптический модуль состоит из:**
 - 10" ФЭУ Hamamatsu R7081HQE, $Q_{eff} \sim 0.35$
 - 17" стеклосфера VITROVEX
 - 5-штырьковый глубоководный разъем Subconn
 - 2-канальный усилитель, контроллер, блок высокого напряжения
 - 2 калибровочных светодиода: 108 ф.э., 430 нм, 5 нс
 - Металлическая сетка
 - Гель
- **Управление:** RS485 (мониторинг темпов счета ФЭУ, значения высокого напряжения, температуры)
- **Потребление:** max 0.3A x 12B
- **Калибровка** задержки прохождения сигнала в ФЭУ (разность между тестовым и светодиодным импульсами)



Функциональная схема электроники ОМ

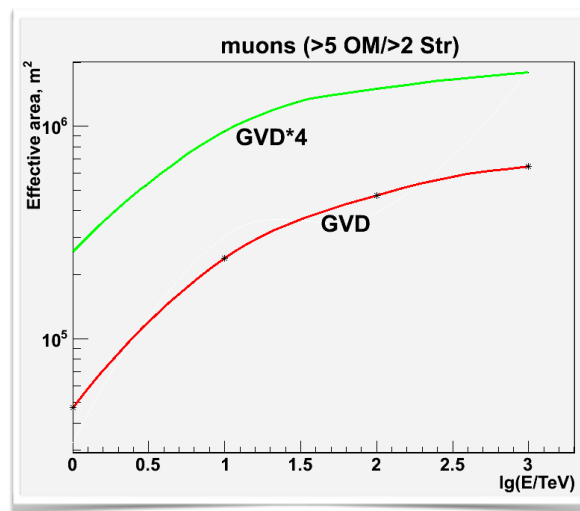
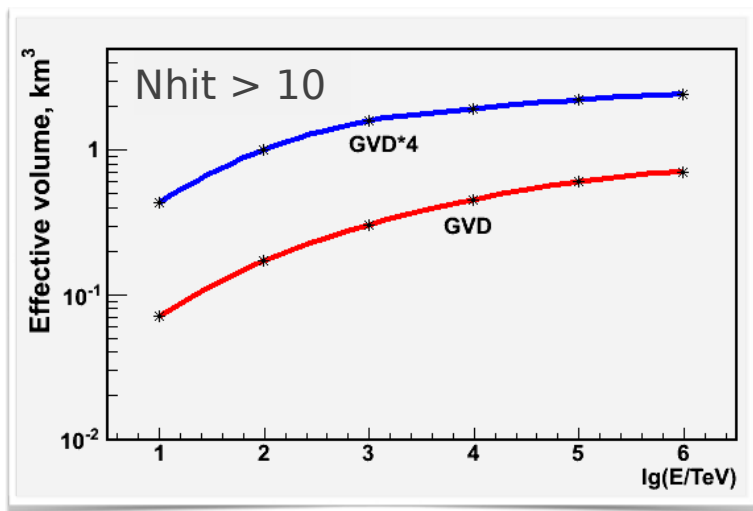
Байкальский телескоп НТ-1000

- Разработка завершена
- Конфигурация телескопа, оптимизированная для регистрации как мюонов, так и ливней:
 - 12 автономных телескопа (кластера) на 300 м друг от друга
 - Каждый кластер состоит из:
 - 8 гирлянд (1 центральная и 7 периферийных на окружности радиусом 60 м)
 - донный береговой опто-электрический кабель (на 1 или на 2 кластера)
 - Длина гирлянды 350 м (24 ОМ на расстоянии 15 м друг от друга)
 - Всего 2304 ОМ



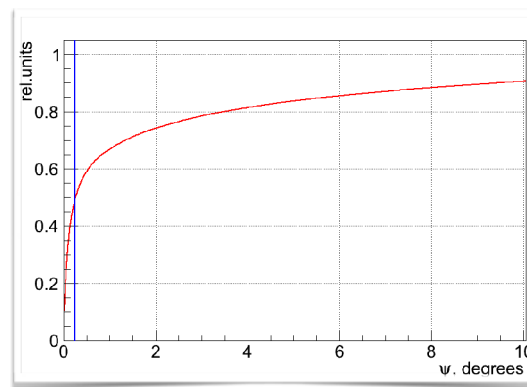
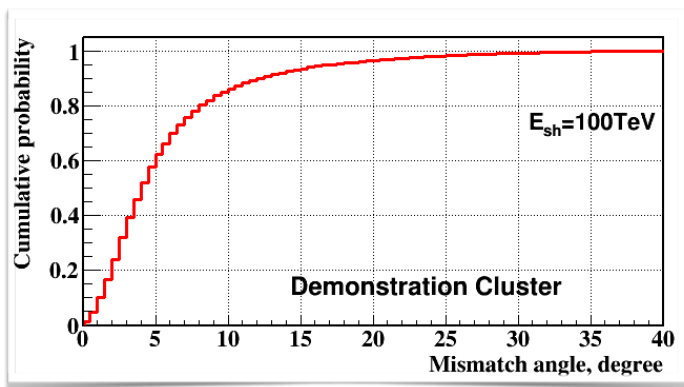
Характеристики НТ-1000

эф. объем для ливней с $E > 100$ ТэВ: 0.1 - 0.6 эф. площадь для мюонов $E > 10$ TeV: 0.2 - 0.6



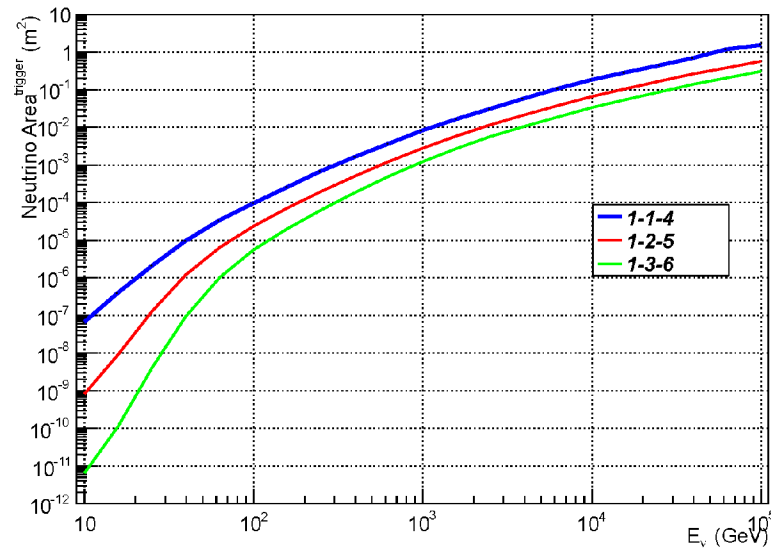
Угловое разрешение для ливней: 3.5 - 5.5°

Угловое разрешение для мюонов: 0.25°



Характеристика одного кластера

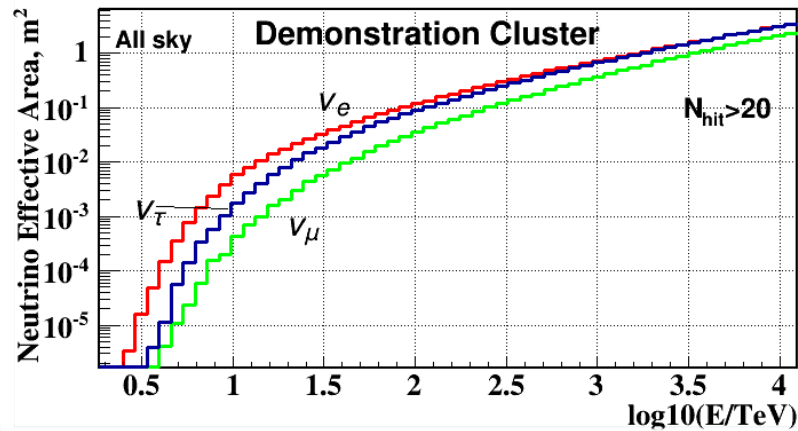
Эфф. площадь регистрации нейтрино (мюоны)



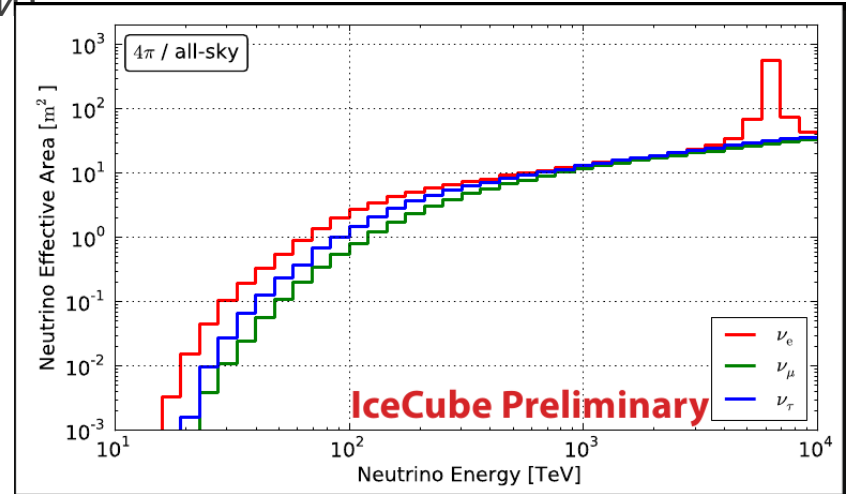
Подавление фона
атмосферных мюонов
уменьшает площадь на
~30-40%
Угловое разрешение
(медианное) ~1-1.5o (не
зависит от энергии для $E_{\mu} >$
1 TeV)

Характеристика одного кластера

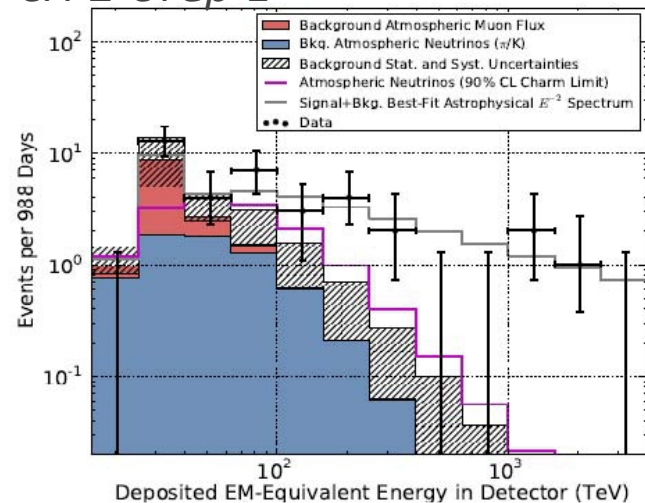
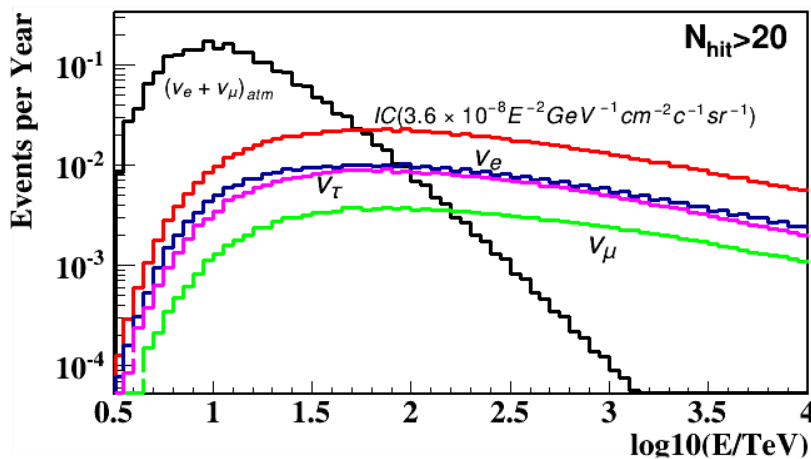
фф. площадь регистрации нейтрино (ливни)



IceCube

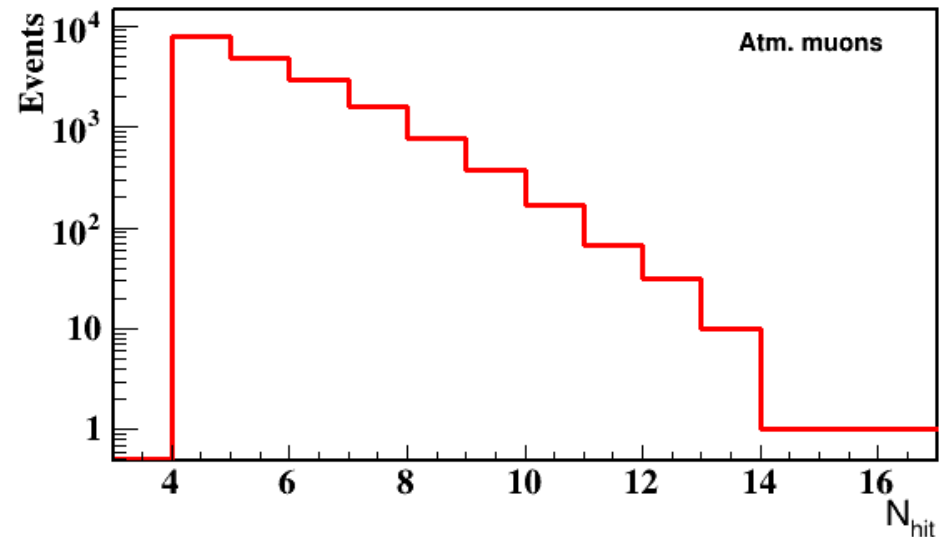


пение в год с $E > 100$ TeV for $E^2 FIC = 3.6 \cdot 10^{-8} \text{ ГэВ}^{-1} \text{ см}^{-2} \text{ стер}^{-1}$



Фон для ливней

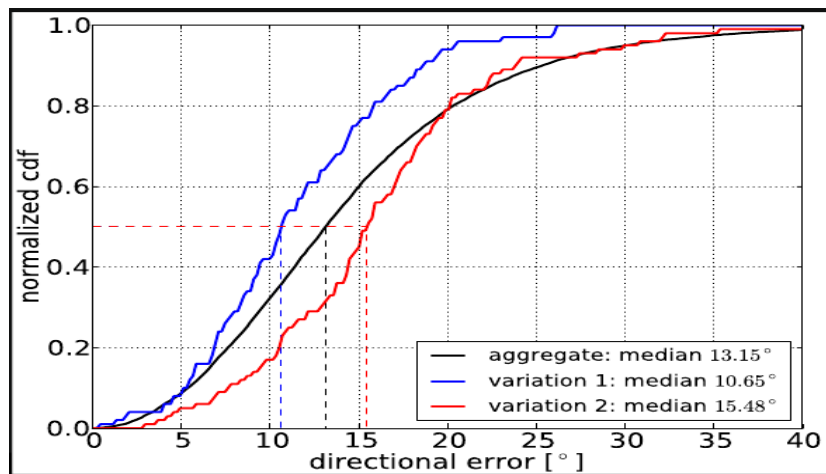
- Основной фон – атмосферные мюоны
- Набор МК:
 - $2 \cdot 10^8$ триггерных событий
 - ~23 дня набора данных
 - Ни одного события с $N_{hit} > 20$



- МК в процессе..

Угловое разрешение для ливней

IceCube

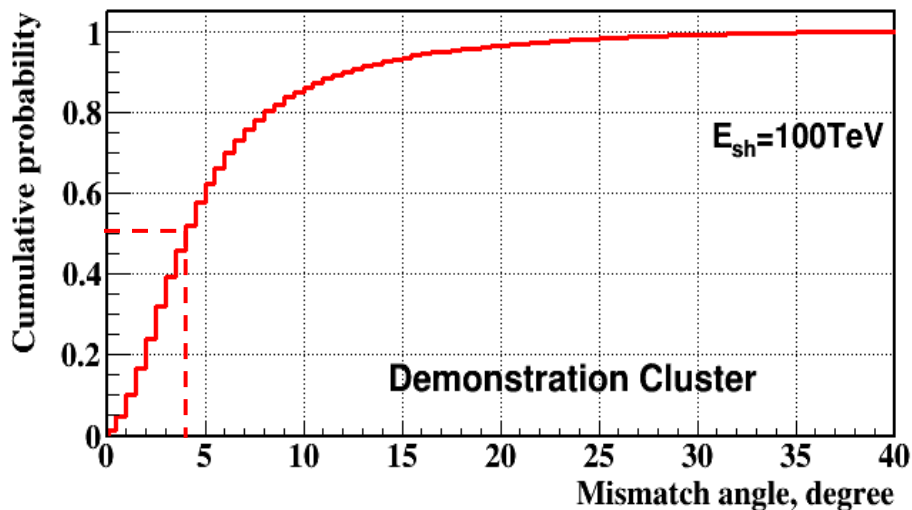


Угловое разрешение $\langle \Psi \rangle$:

IceCube - 10°-15°

GVD-Cluster - 4°

Кластер

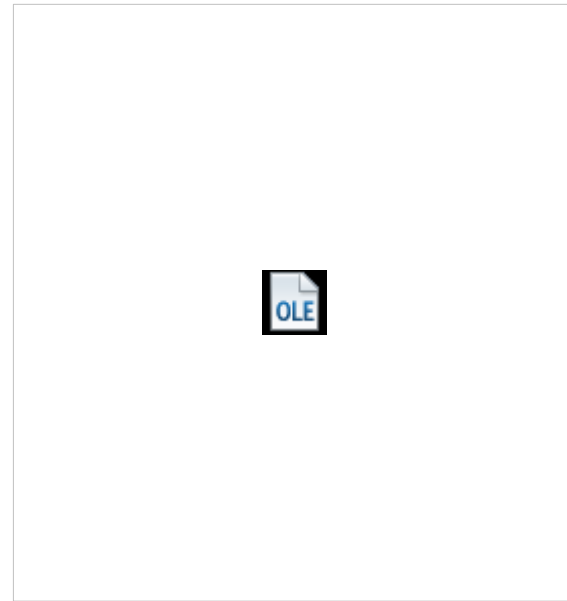


→ дополнительный фактор $\langle \Psi \rangle^2$ в задаче поиска локальных источников нейтрино

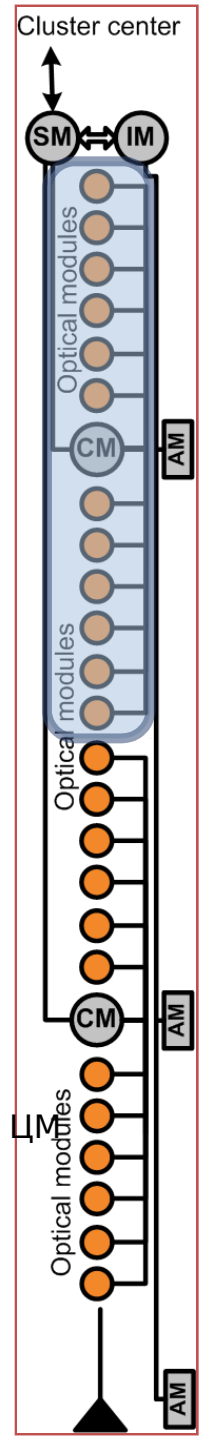
техническая часть

Гирлянда ОМ

- Центральный модуль (ЦМ) и подключенные к нему 12 ОМ образуют секцию
- Каждая гирлянда может состоять из нескольких секций, акустических модулей, а также дополнительного оборудования
- ЦМ состоит из:
 - 3 FADC платы (ПЛИС Xilinx Spartan 6, 12 каналов, 200 MHz, 12бит, двойная буферизация, мониторинг т.сч. запросов)
 - Мастерная плата (ПЛИС Xilinx Spartan 6):
 - триггерная система секции (основное триггерное условие: срабатывание 2 соседних ОМ по высокому (3 ф.э.) и низкому (0.3 ф.э.) порогам во временном окне 90 нс). Срабатывание - превышение порога в 4 соседних отсчетах FADC
 - онлайн обработка данных (выделение импульсов с ФЭУ -> уменьшение потока передаваемых данных в 20 раз)
 - коммуникация с Центральным модулем кластера (линия 1.2 км, DSL модемы MOXA IEX-402-SHDSL)
 - Буфер на 1000 событий
 - Событие: Формы импульсов с 12 каналов, лок. время (10нс), значения счетчиков запросов и подтверждений
 - Плата медленной связи и питания ОМ



Функциональная схема электроники ЦМ



Центр кластера

- обеспечивает совместную работу 8 гирлянд
- состоит из 3 стеклосфер и оптоконечника, расположенных на 30 м под поверхность:
 - 2 FADC и мастерная платы -> триггерная логика кластера (совпадения нескольких гирлянд в окне 500 нс), общий на все секции сигнал подтверждения
 - электропитание, управляемый коммутатор питания
 - 8 DSL-модемов для передачи данных с секций
 - связь с берегом по оптоволоконной линии

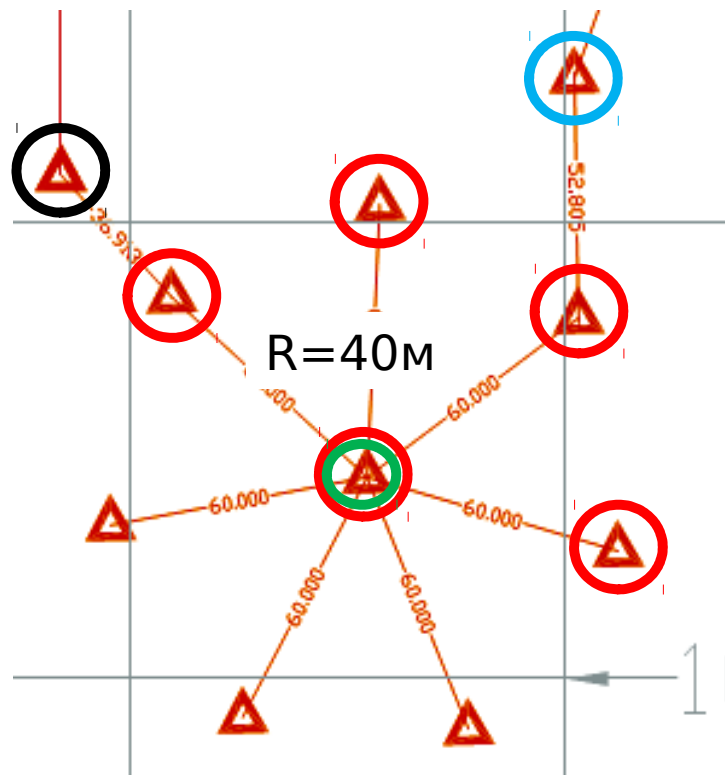


Текущее состояние

Кластер 2014

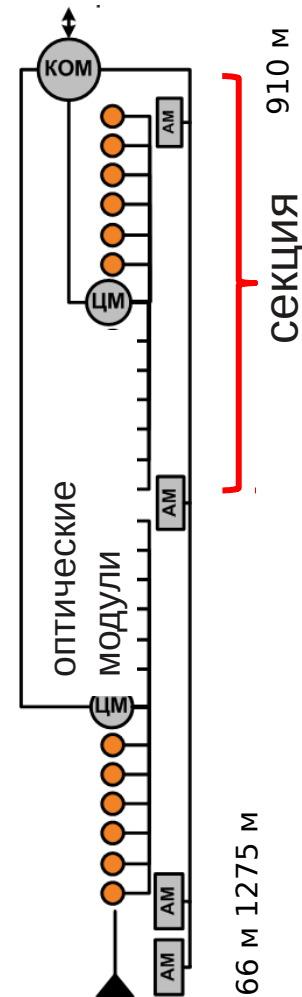
- 112 ОМ на 5 гирляндах
 - 9 секций по 12 ОМ
 - 1 секция с 4 ОМ
- Акустическая система позиционирования (3 модуля на гирлянде, измерение каждые 30 сек, точность < 1 см), калибровочная матрица светодиодов
- Инструментальная гирлянда:
 - калибровочный лазерный изотропный источник света
 - 8 ФЭУ на глубинах 600 - 900 м для изучения фоновых условий
- 10 акустических модулей

Донный кабель



- - Центр кластера
- - Инструментальная гирлянда
- - ОЭ буйковая станция
- - Гирлянды

к Центру кластера



1366 м 1275 м

Надежность аппаратуры

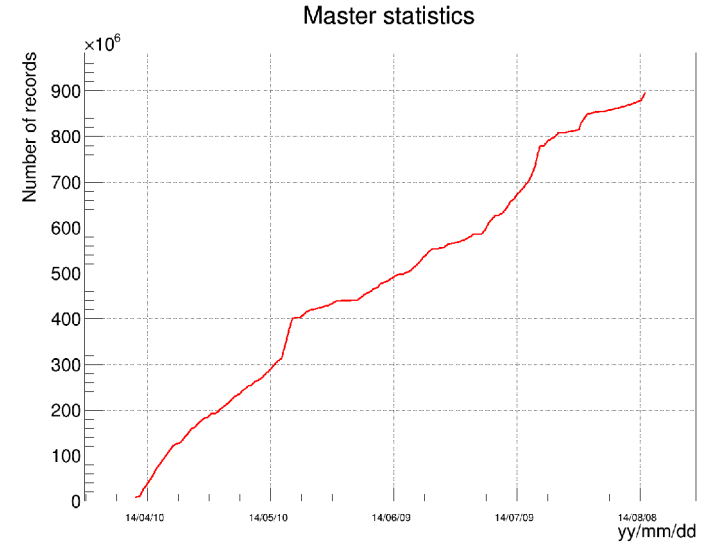
с апреля 2011 по июнь 2014
(без длительных лабораторных и стресс

- Оптические тестеры:
 - 3 ОМ из 140 вышли из строя
 - 1 ОМ: контроллер ОМ
 - 2 ОМ: нет соединения по шине RS485. Возможная причина – плата медленной связи (будет модернизирована в 2014 году)
- Кабельные коммуникации:
 - 2 кабеля вышли из строя. Причина – старая технология заливки разъемов (кабели 2011 года). Новая технология с 2012 года.
- Сетевые устройства:
 - промышленные устройства (свитчи, Ethernet-RS485 конвертеры, IEX-402 DSL-модемы MOXA)
 - – без ошибок
 - неиндустриальные DSL-модемы:
 - ненадежное соединение с 1 гирляндой в 2013 году и 1 секцией в 2014 году
 - в планах перейти полностью на MOXA IEX-402 shDSL
- FADC и мастерные платы
 - без ошибок
- Стеклофферы и глубоководные разъемы
 - без ошибок
- Устройства электропитания (300 VDC коммутаторы, DC/DC конвертеры)
 - без ошибок

Набор данных

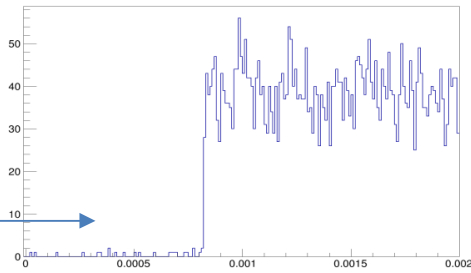
Сеансы	Время набора	Астрон. время	%	Монитор. записи	Мастер. записи
327	86 d 20 h	124 d 14 h	69.70	575,096	905,047,588

- Мастерная запись: Формы импульсов с 12 каналов, лок. время (10нс), значения счетчиков запросов и подтверждений



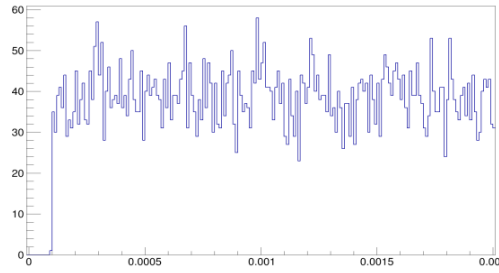
Один буфер, 0.8 ms, ~10 % мертвое время

event dt distribution

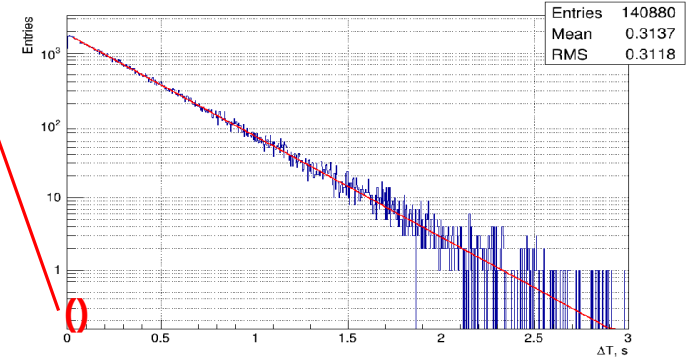


Два буфера, 0.1 мс

event dt distribution

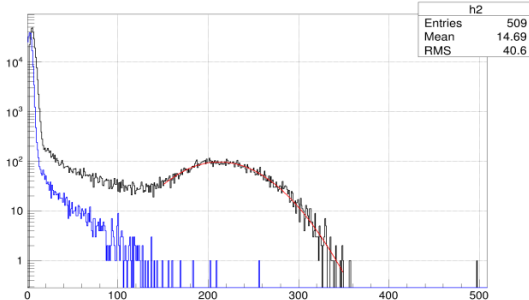


Разность времен между событиями

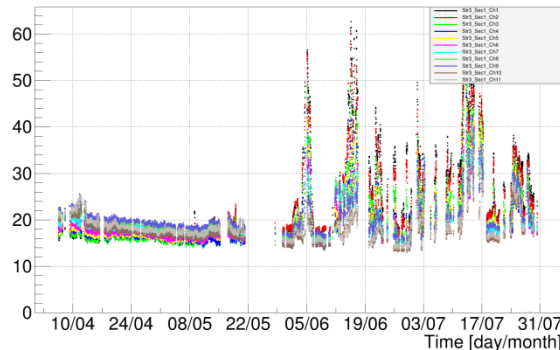


Мониторинг каналов FADC

h2

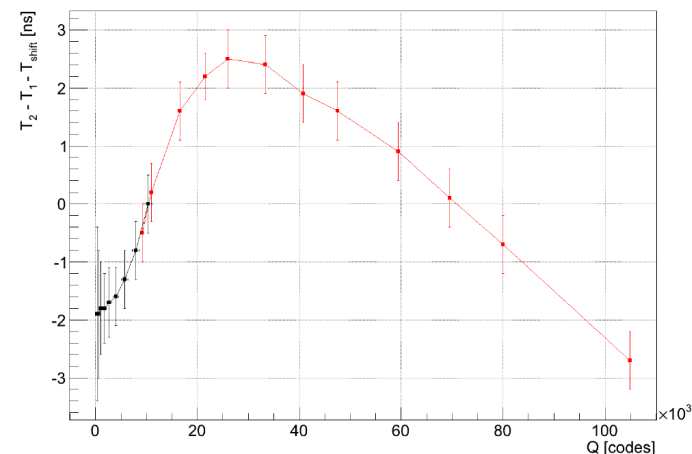
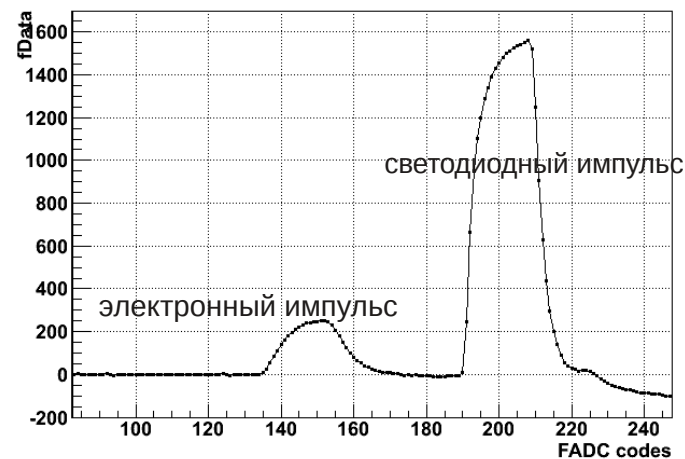


Мониторинг темпов счета ФЭУ

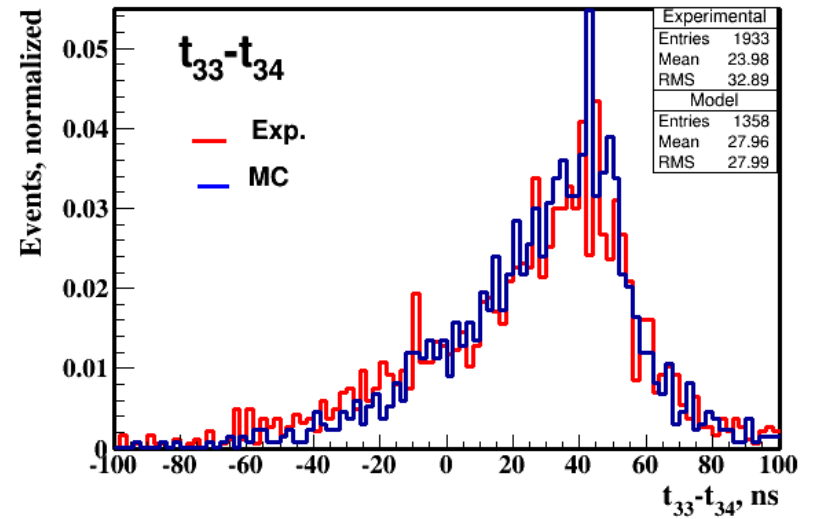
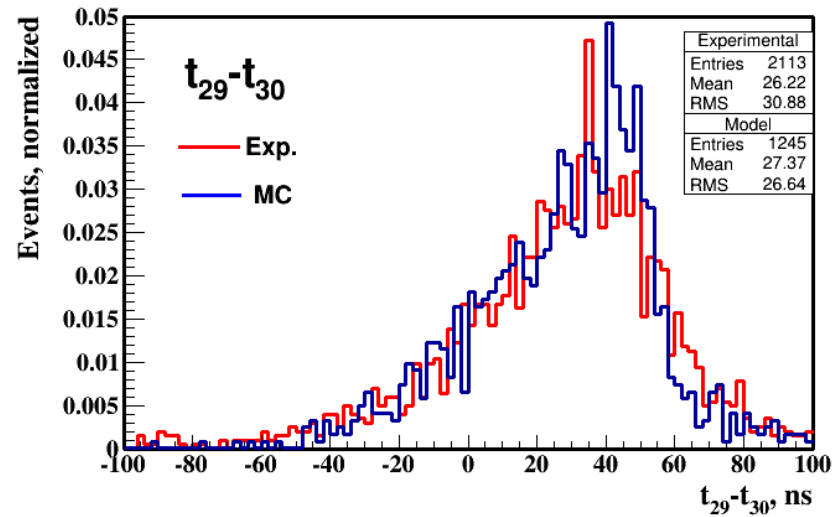


Временная калибровка

- Подсчет полной задержки в канале:
 - $T_{led} - T_{test} = T_{ФЭУ}$
 - $T_{кабель}$
 - T_{FADC} (ненулевая в Spartan3)
- Сравнение задержек в светодиодных сеансах
- Учет зависимости временной отметки $T_{1/2}$ от амплитуды $A > 50$ ф.э.



Атмосферные мюоны



Восстановление мюонов

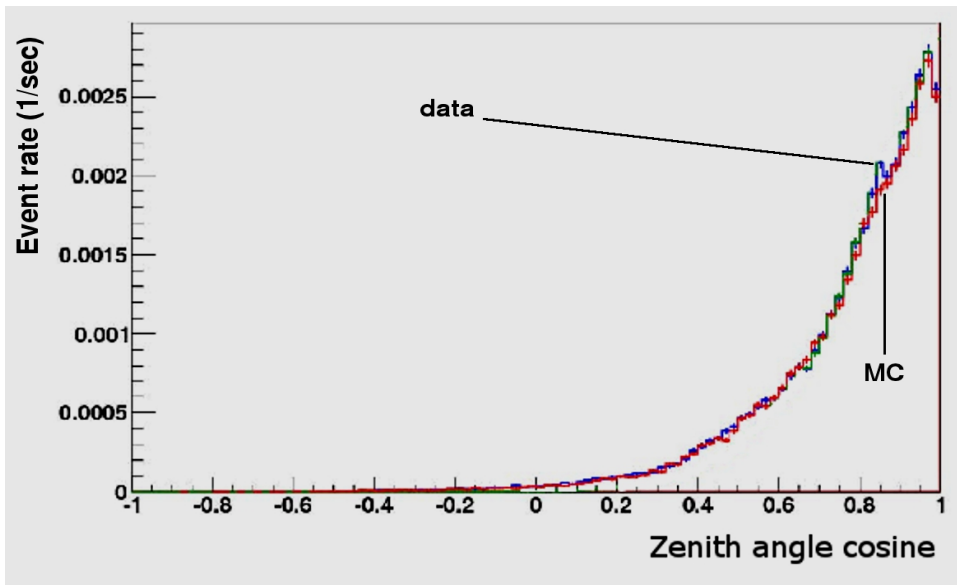
- Проверка системы измерения времени, триггерной системы
- Надежность калибровочных методов
- Эффективность подавления шумов
- Проверка МК моделирования

Процедура подавления шумов:
разность времен между импульсами на разных каналах должна быть меньше времени прохождения света между этими каналами

$$|\Delta t_{ij}| < (r_{ij} n_g)/c + \delta,$$

Простейший метод восстановления трека мюона

$$\chi^2 = \sum_{i=0}^{N_{hit}} (T_i(\theta, x, y) - t_i)^2 / \sigma_{t_i}^2$$



Данные за 2010 год

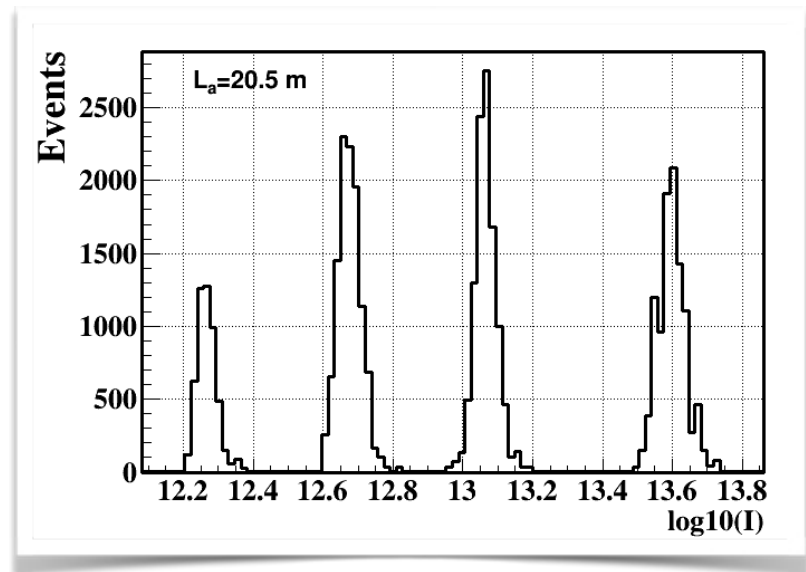
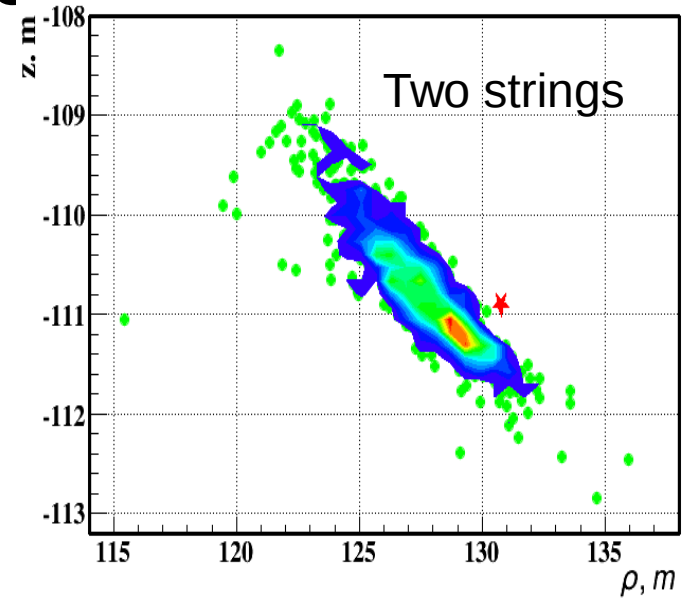
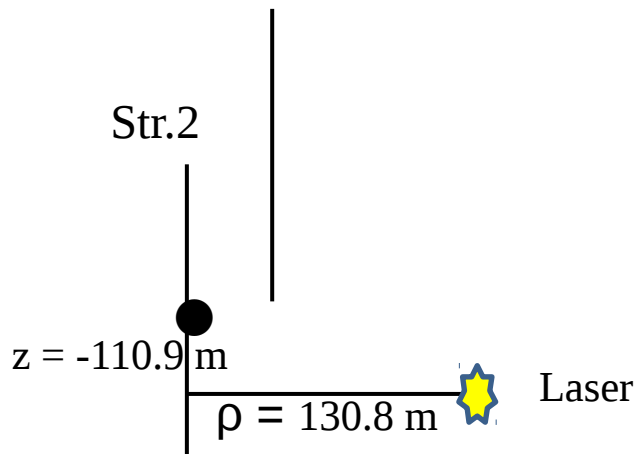
Распределение по
зенитному углу
экспериментальных и МК
событий после отбора по
значению χ^2

Восстановление положения и интенсивности лазерного ис

Лазерный источник света (480 нм):
4 фикс. интенсивности: $\sim 10^{12}$ – 6×10^{13} γ /импульс
 ~ 10 ПэВ – 200 ПэВ энергии ливня
Расстояния от лазера до ОМ: 130 – 250 м.

Точность восстановления координат 3.2 м

Точность восстановления интенсивности $\sim 10\%$



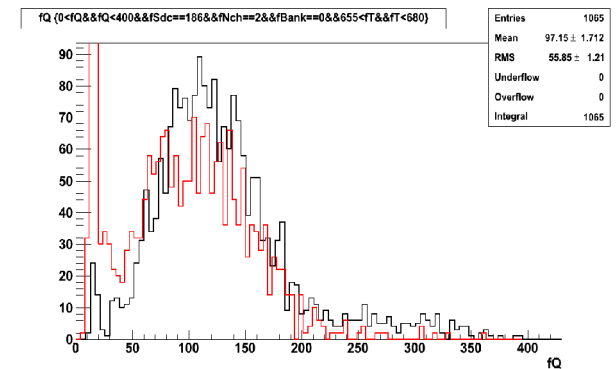
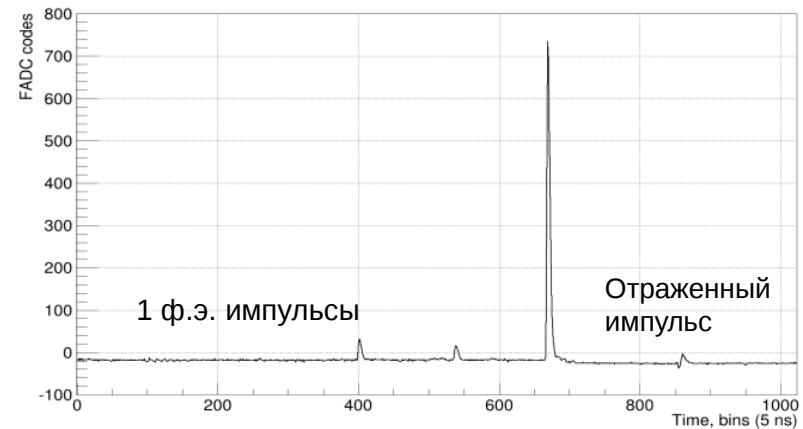
Обработка данных

Алгоритмы:

- Чтение экспериментальных данных (поддержка различных версий форматов)
- Выделение импульсов на оцифрованных развертках с ФЭУ, определение их характеристик: A, Q, Ped, T1/2, TOT, FWHM
- Объединение событий с секций в общее событие кластера: по локальным временам секций, учет разбегания таймеров
- Проверка работы триггерной системы: оффлайн восстановление триггерного условия, определение окна совпадений
- Автоматический контроль работы оборудования по анализу данных (alarm система)
- Временная и амплитудная калибровки: относительные задержки между каналами, коэффициенты FADC коды – ф.э.
- Учет изменяющихся во времени параметров: геометрия установки, калибровочные значения
- Подавление шумов: принцип причинности
- Восстановление событий
- Сравнение с МК данными

Обнаружено несколько десятков ошибок на ранних стадиях формирования данных (программа сбора данных, прошивки мастерных плат)

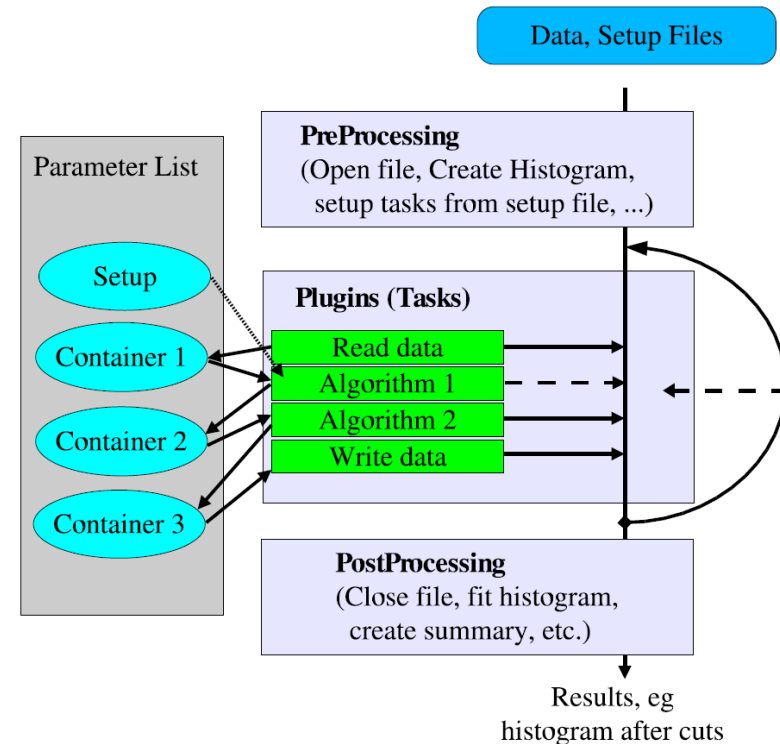
Пример «сырых» данных (5 мкс)



1 ф.э. распределения импульсов по шумам и по светодиодам

Комплексный подход к обработке данных

- Единый программный пакет BARS (Baikal Analysis and Reconstruction Software)
 - реализуется в стиле ООП на C++, основан на ROOT
 - стандартизует взаимодействие алгоритмов друг с другом (интерфейс алгоритмов)
 - алгоритмы практически независимы друг от друга -> высокая гибкость программ -> адаптация алгоритмов для новых задач
 - способствует автоматизации процедур обработки



Временная шкала

Совокупное число кластеров и зарегистрированных событий

Year	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Baseline	1	1	3	5	7	10
Events	1	2	5	10	17	27
Compressed baseline	1	2	4	7	10	
Events	1	3	7	14	24	

1 кластер = 8 гирлянд = 192 канала = 1 событие от косм. ν ($E > 100\text{TeV}$, ливень) в год

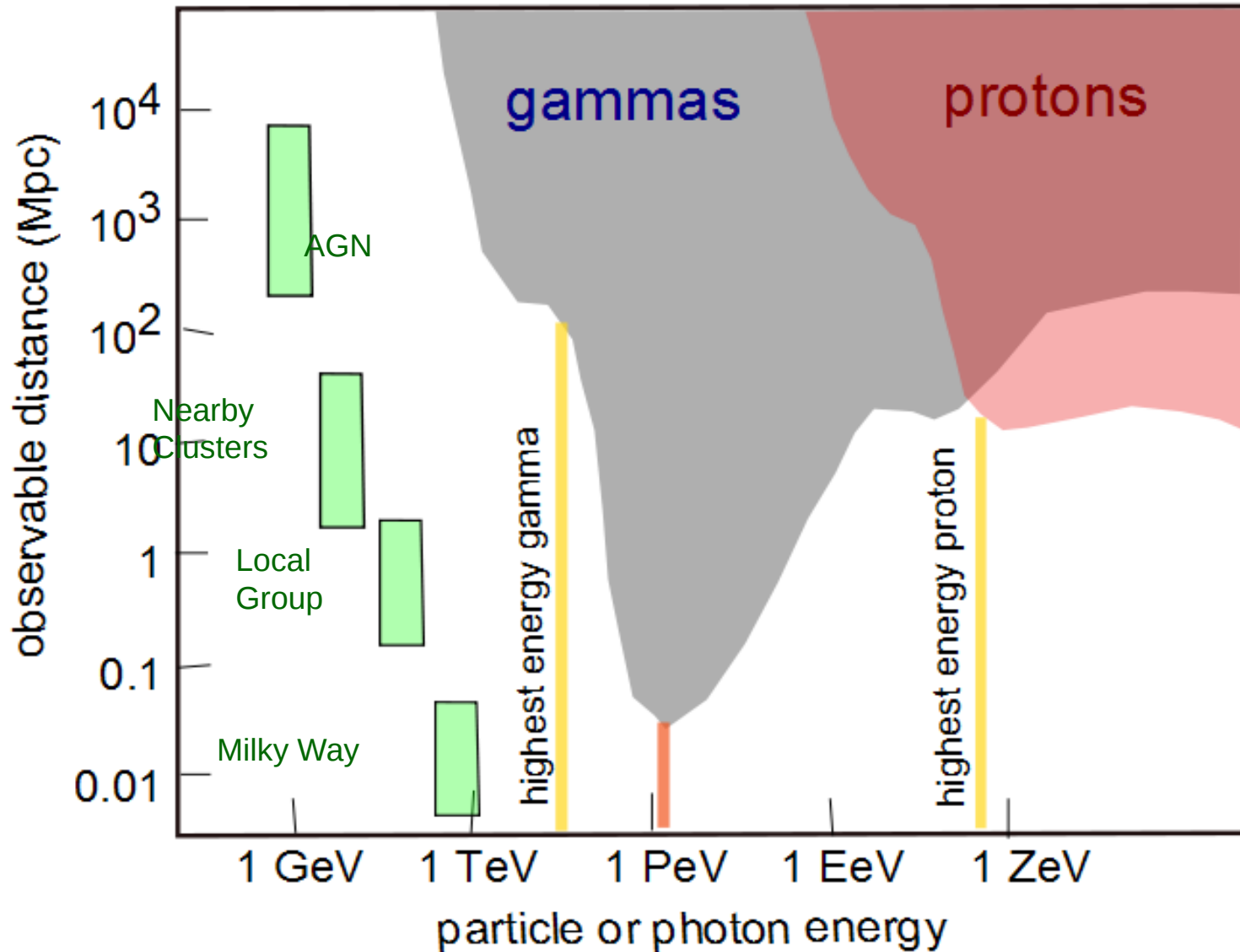
Стоимость первого кластера (“Дубна”): ~ 2.2 М€

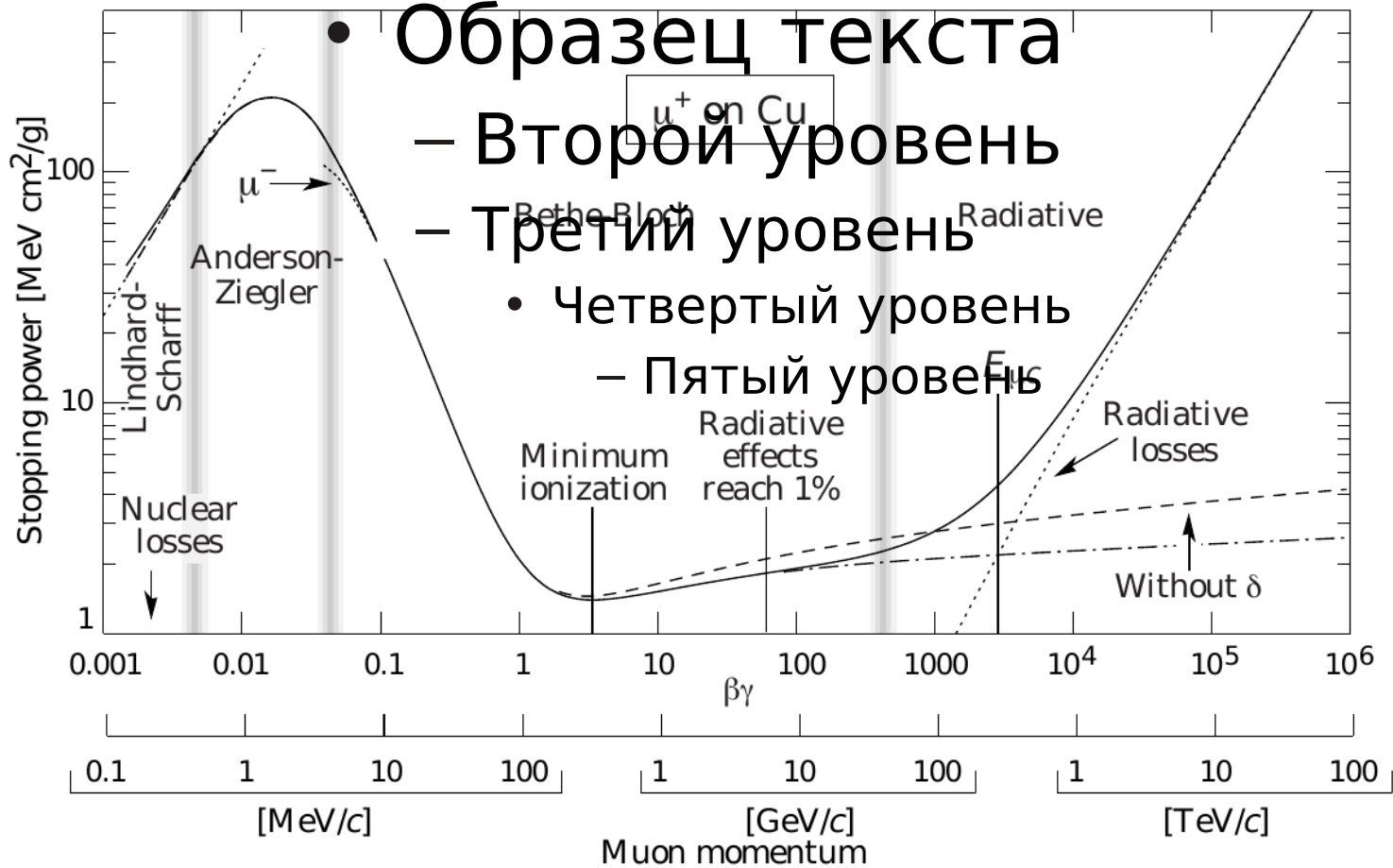
Заключение

- Технический дизайн НТ-1000 завершен
- 3 года испытаний в натуральных условиях экспериментальных установок показали, в целом, надежную работу элементов телескопа
- Ближайшие планы:
 - доведение «до ума» электронных элементов, прошивок, программ сбора данных, программ обработки данных
 - запуск полномасштабного демонстрационного кластера в 2015 году, набор физически значимых экспериментальных данных
 - подготовка к массовому производству комплектующих

BACK-UPS

The viewing range

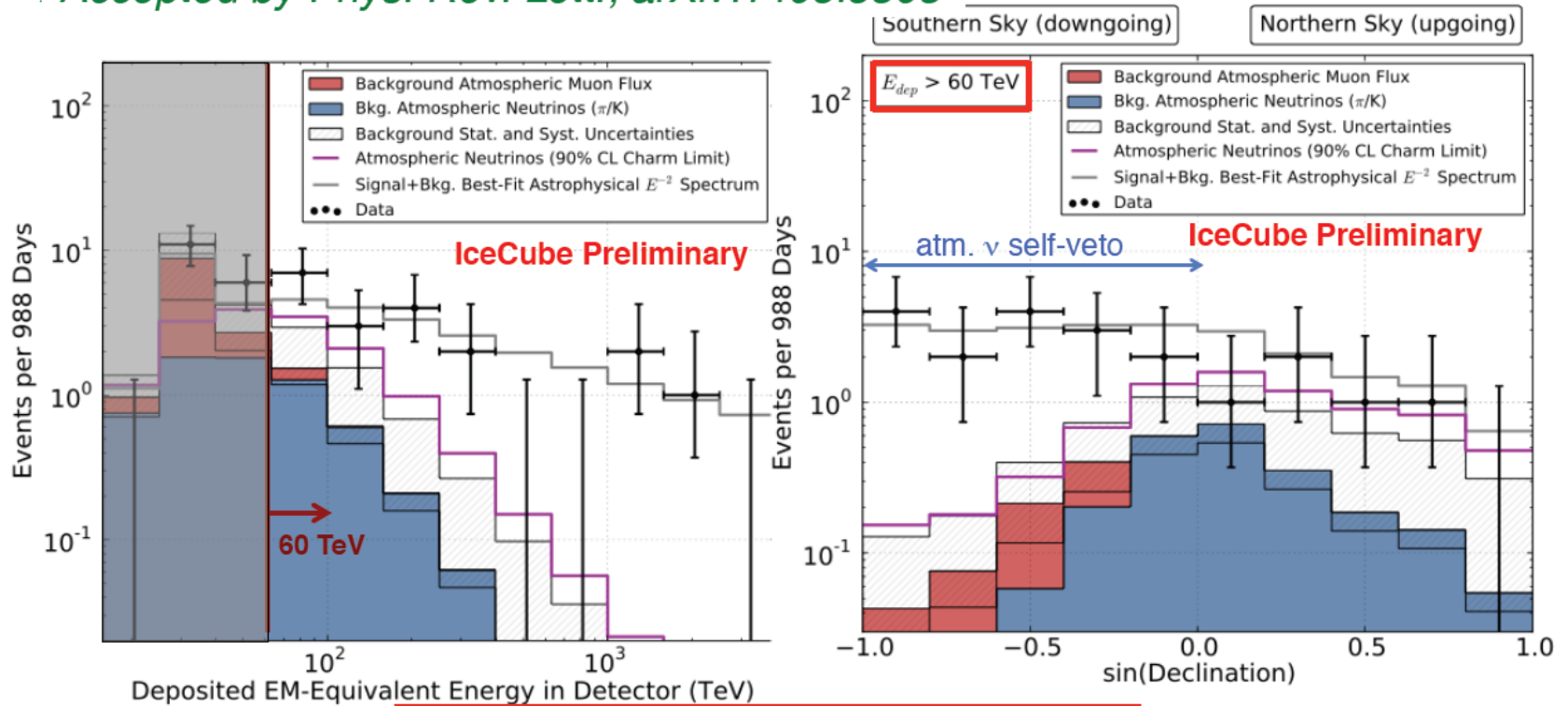




High Energy Starting Events (“HESE”)

Data: 79- and 86-strings (2010-2013, 988 days)

Accepted by *Phys. Rev. Lett.*; *arXiv:1405.5303*



Best-fit results:

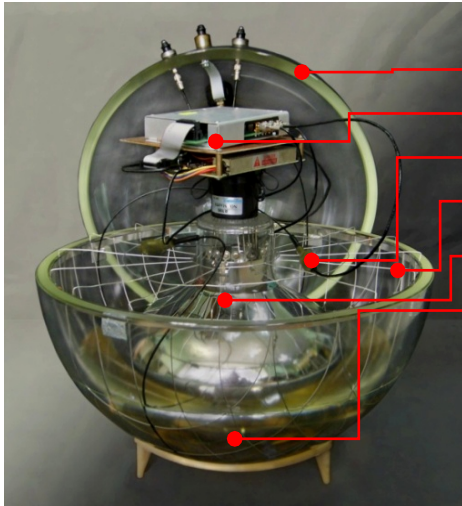
flux normalizations only

$$E^2\Phi = (0.95 \pm 0.30) \times 10^{-8} \left[\text{GeV s}^{-1} \text{sr}^{-1} \text{cm}^{-2} \right] \quad (\text{per } \nu \text{ flavor})$$

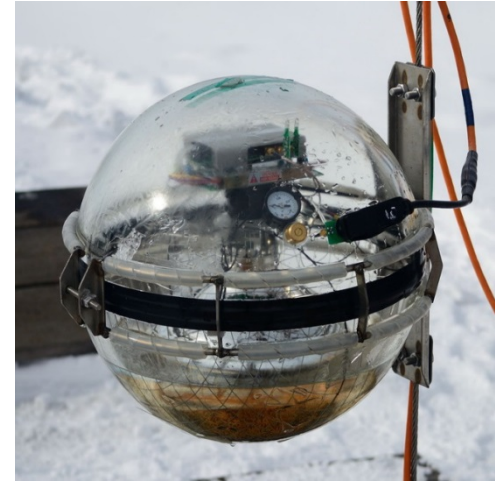
$$60 \text{ TeV} \leq E_\nu \leq 3 \text{ PeV} \quad \text{fit energy range}$$

Background only hypothesis disfavored at 5.7σ

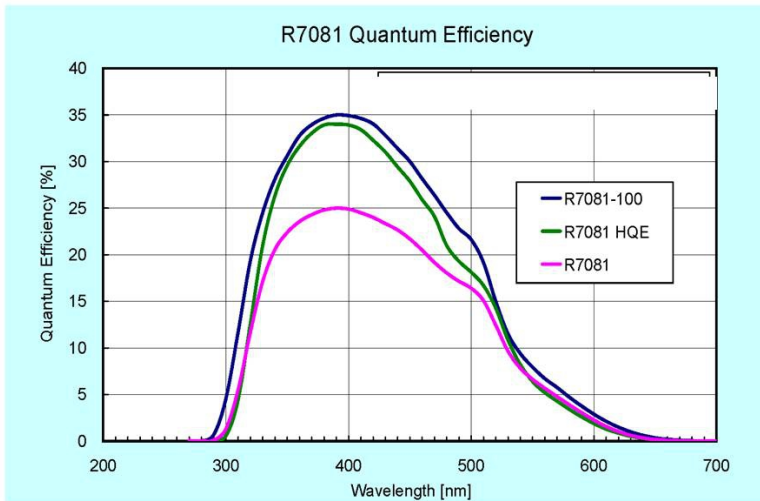
Optical module (OM)



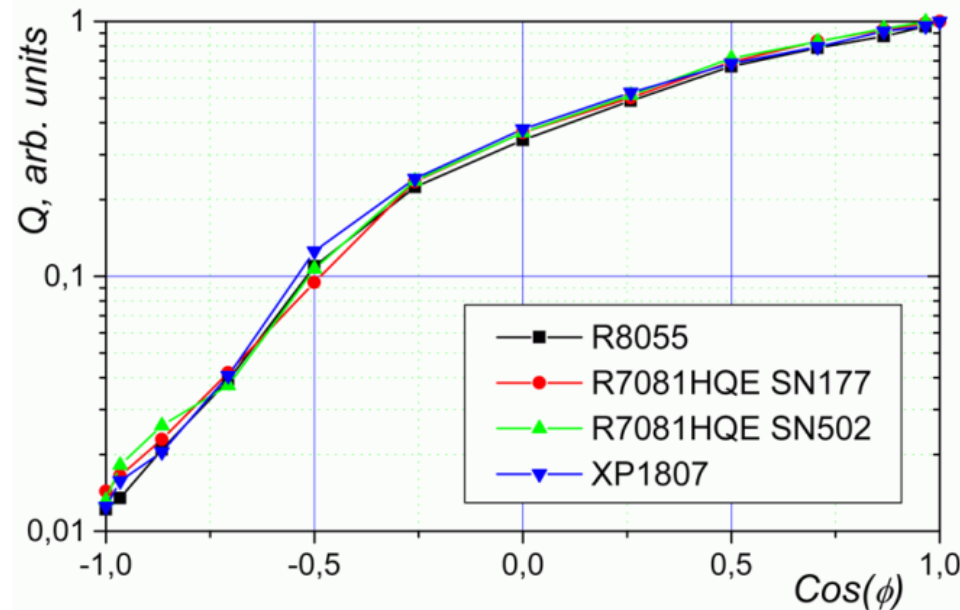
- Glass pressure-resistant sphere VITROVEX (17")
- OM electronics: amplifier, HV DC-DC, controller
- 2 on-board LED flashers: 1...108 pe., 430 nm, 5 ns
- Mu-metal cage
- **PMT R7081HQE : $D=10''$, $\sim 0.35QE$**
- Elastic gel



Quantum efficiency



Angular sensitivity



ADC board

4 FADC channels, FPGA logic

FADC (AD9430) 12bit, 5ns

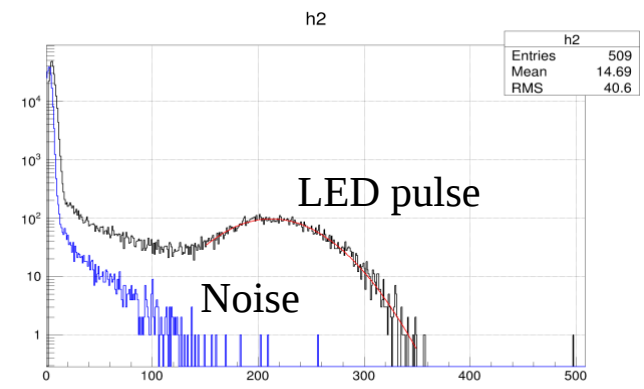
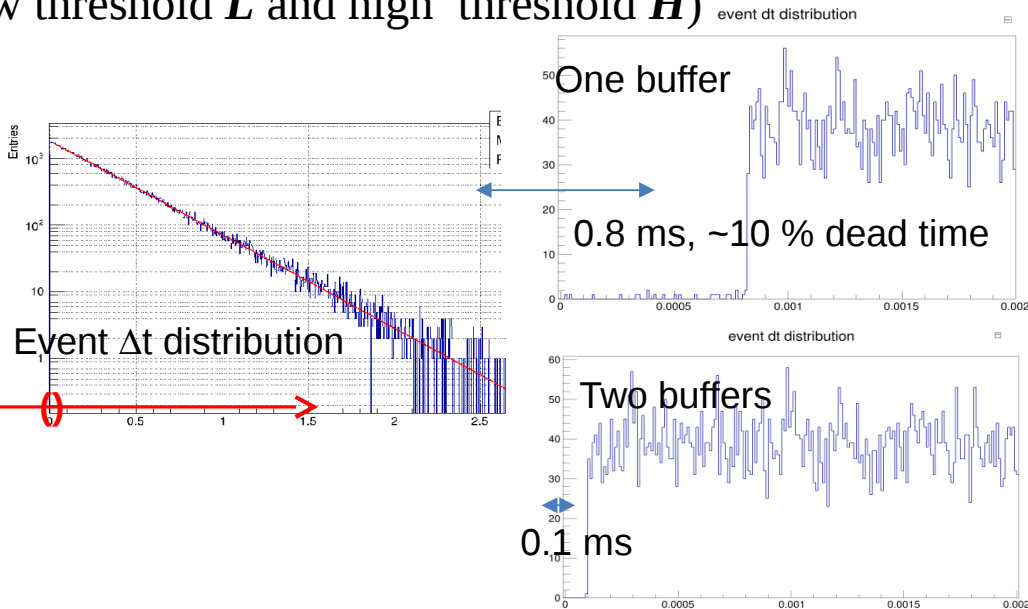
FPGA (Xilinx Spartan 6)

- ☒ Data channel: data buffer and data transmitter.
- Monitor channel: Peak detector and Amplitude analyzer.
- ☐ Trigger request channel: smoothing unit (1...8), 2-level adjustable digital comparator (low threshold L and high threshold H)

FPGA



Functional scheme of one FADC channel



Master board

Trigger logic, data readout from ADC boards, control of the section operation, connection via local Ethernet to the cluster DAQ center.

Request analyzer

Programmable coincidence matrix
(12L×12H inputs).

Two basic trigger modes:

L>N : > N OMs in the section

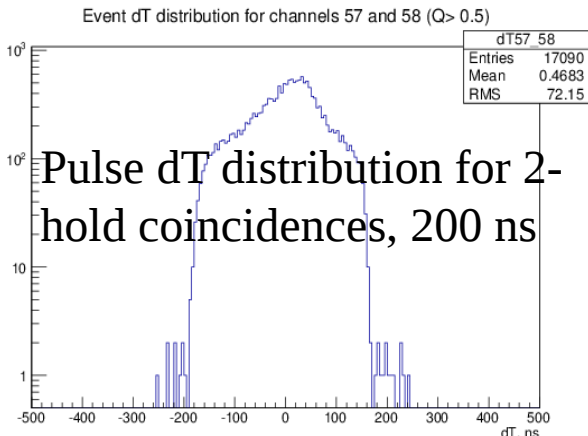
L&H: any pairs of neighbouring OMs with low (0.3pe) and high (3pe) thresholds

Event buffer (1000 events)

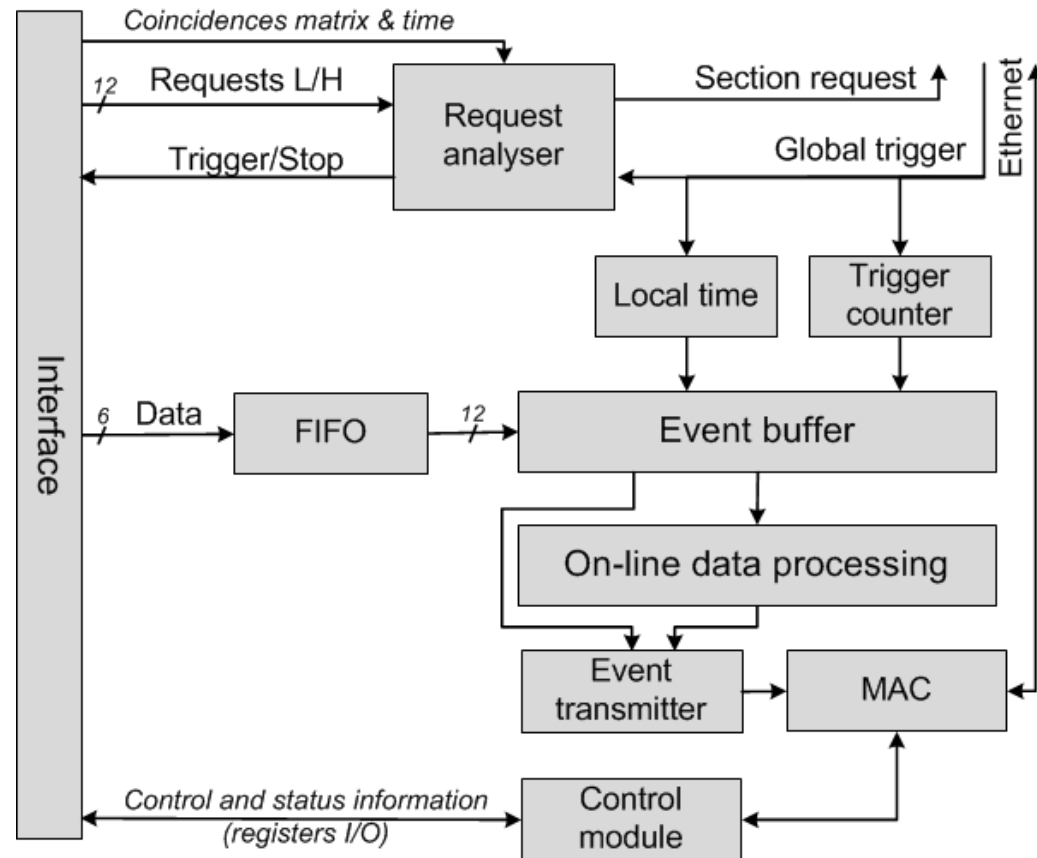
Event: waveform data for 12 ADCs, global trigger number, local time.

On-line data processing unit:

The separation time intervals from waveform stamp, that contains PMT pulses.



Pulse dT distribution for 2-hold coincidences, 200 ns

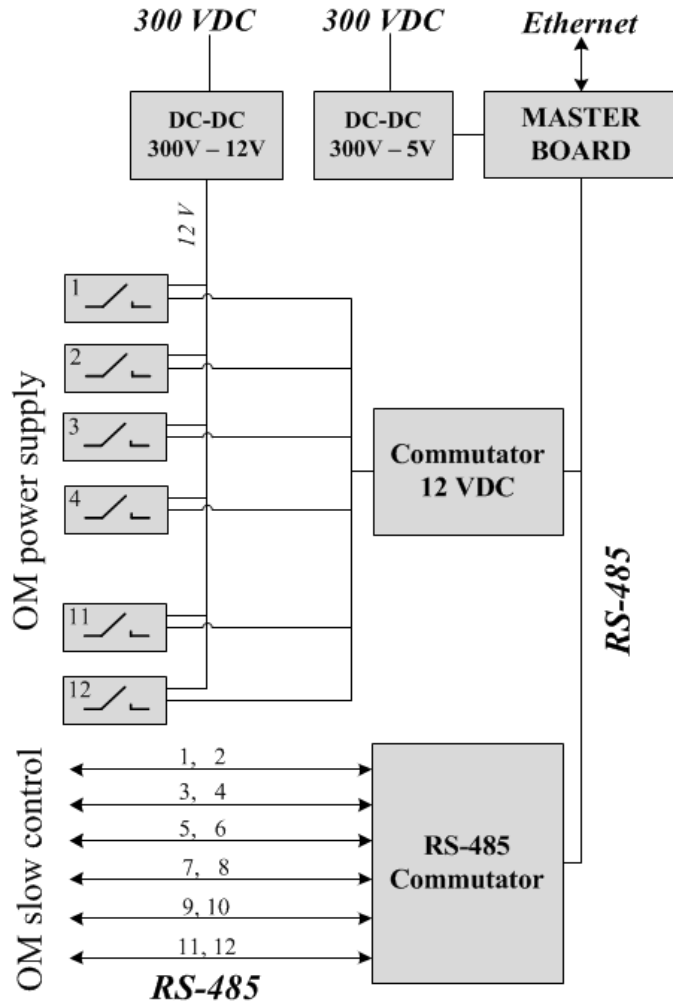


Master block-diagram (FPGA Xilinx Spartan 6)

Control module: Connection to Slow control board via RS-485 bus.

Slow control board

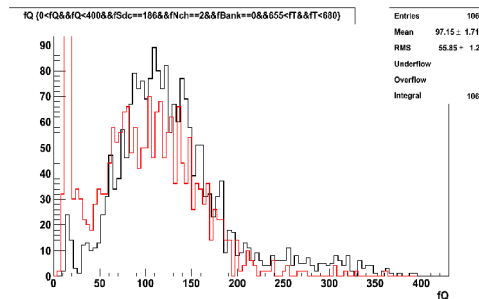
OM power on/off, control of OM mode of operation, monitoring of OM parameters.



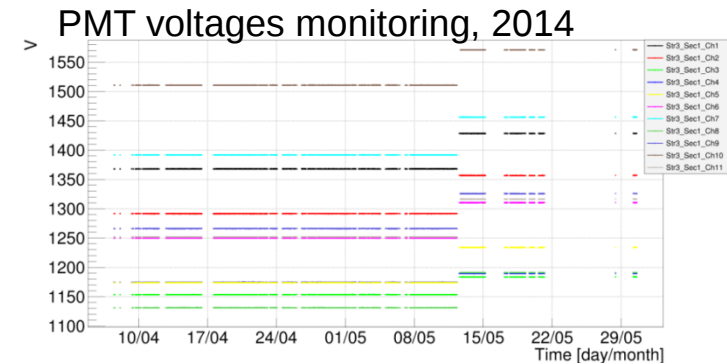
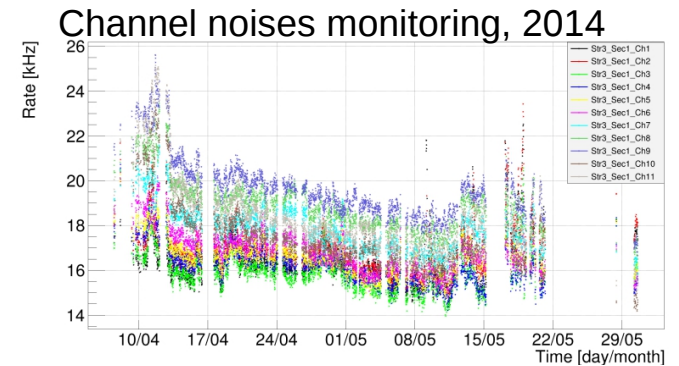
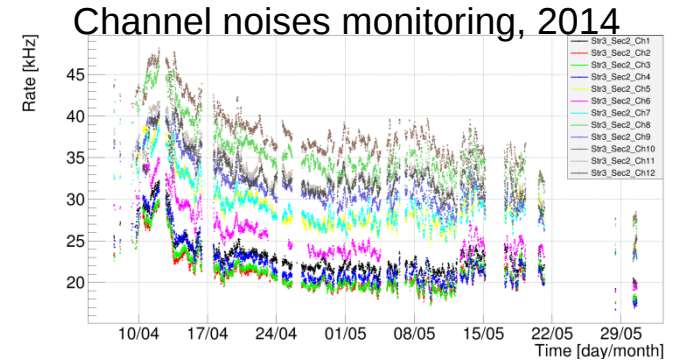
12 Relay units (12V);

**6 RS485 channels
(2 OM on the channel)**

**OM power supply:
DC/DC 300-12V**



Single photoelectron spectrum measured with LED (black) and noise spectrum (red)



Power supply

String power consumption: $0.45\text{A} \times 300\text{V} \rightarrow$ Cluster (8 strings) $\sim 1.2\text{ KW} \times 1.5$

300 VDC power supply system.

(1.2 KV power supply will be tested at 2015 for the second cluster).

Basic elements of power system electronics:

- 300 VDC commutators (up to 12 channels)
- DC/DC converters 300 \rightarrow 5, 12, 24 V (Traco Power)

Power commutator was specially designed for Baikal at 2011.

- ☒ Switching on/off via Ethernet by COM-server and digital output module;
- Monitoring of output voltage;

Three-level power supply system:

1-st. Cluster center level (300V).

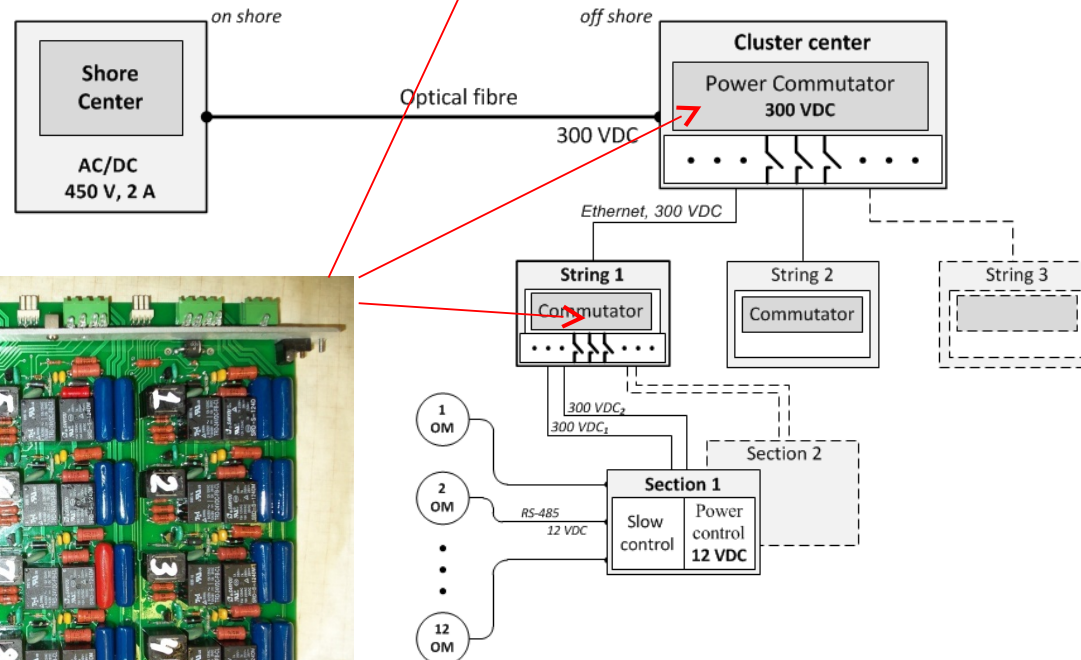
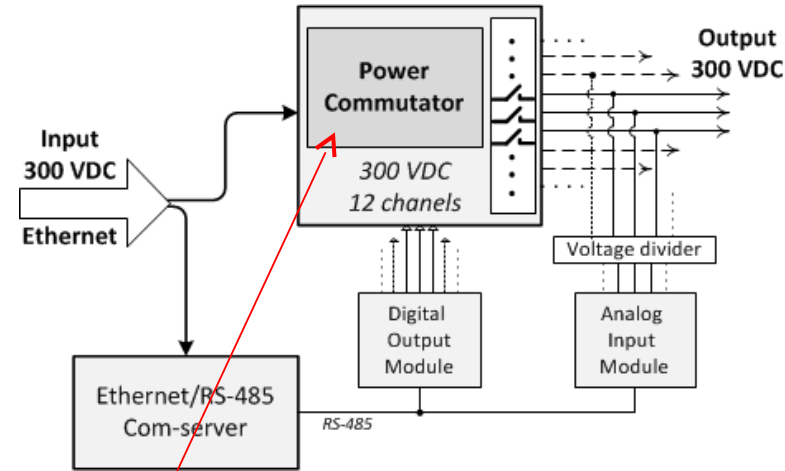
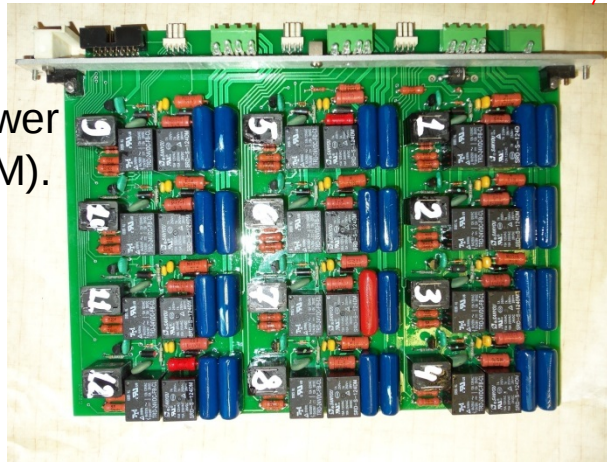
Switching on/off string power supply.

2-nd. String level (300V).

Switching on/off section power (independently ADC and OM).

3-rd. Section level (12V).

Switching on/off OM power.





www.pskovgeokabel.ru

Underwater Cables

25 year successful cooperation with “Pskovgeokabel” factory!
All underwater cables were specially designed for Baikal.

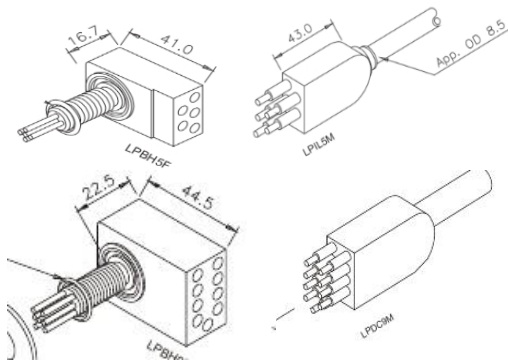
4 basic types of cables:

- Optical modules; Acoustic modules;
- String and section; Cluster (shore cable)

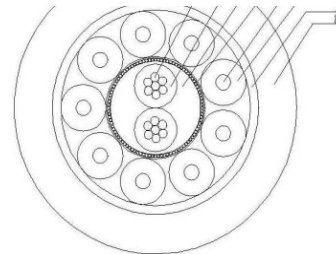
Connectors: SubConn Low Profile

5 contacts (OM) and 9 contacts (String)

- 600 V × 6A per contact.
- Ethernet 100 Mbit.

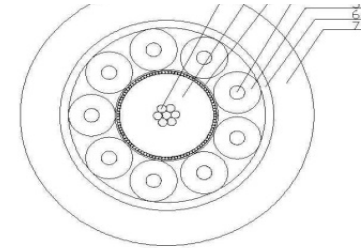


Acoustic modules



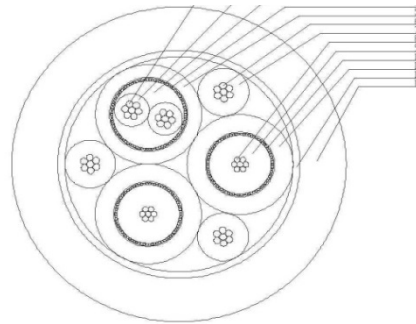
Twisted pair (120 OM, 0.5 mm²)
9 isolated copper wires 0.15 mm²

Optical modules



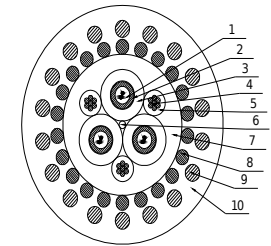
Coaxial cable (50 OM, 0.5 mm²)
9 isolated copper wires 0.15 mm²

String, Section



2 Coaxial cables (50 OM, 0.5 mm²)
Twisted Pair (120 OM, 0.5 mm²)
TP screen 90×0.1 mm
3 isolated copper wires 0.5 mm²

Shore cable



3 fiber modules (2 single-mode fibers,
copper sheath 1.8 mm²)
3 isolated copper wires 0.75 mm²

Polyurethane sealing



Shrink tube

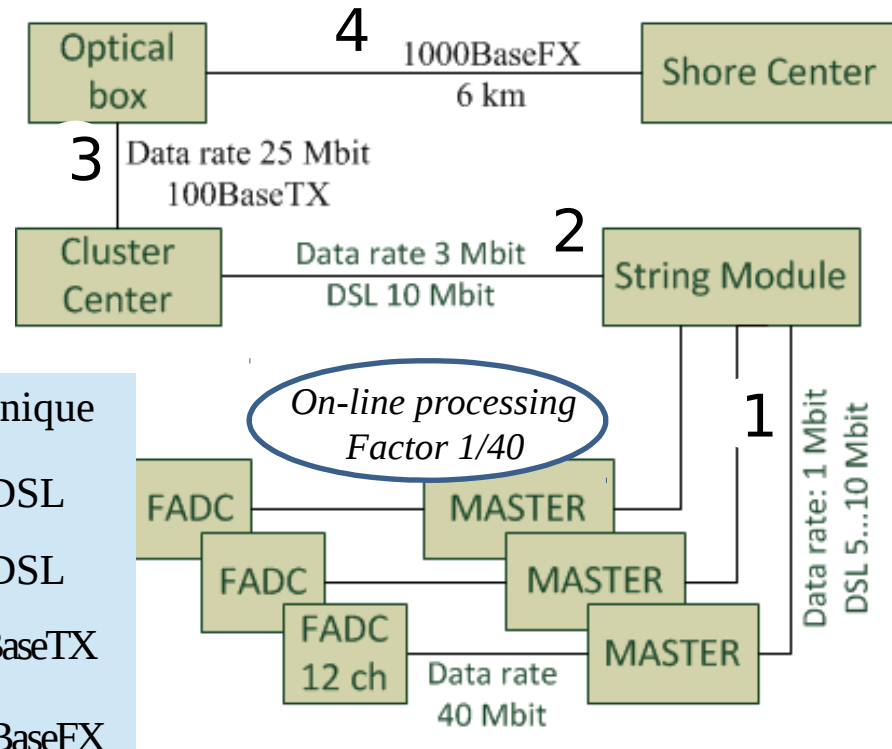


Cluster underwater network

100...200 Hz data event rate are expected for the basic trigger $L \times H$.

Segments of underwater network:

1. Section (Master) – String module
2. String module – Cluster DAQ center
4. Cluster DAQ center – Optical box
5. Optical box – Shore DAQ center



Segment	Length	Data rate	Line speed	Technique
1	100...300m	1 Mbit	~10 Mbit	shDSL
2	~1000 m	3 Mbit	~10 Mbit	shDSL
3	3 m	25 Mbit	100 Mbit	100 BaseTX
4	~6000 m	25 Mbit	1000 Mbit	1000 BaseFX

Critical elements: on-line data processor (PMT pulse selection from waveform data)

Master board provides ~70 Hz data processing rate at software level (processor on the basis of FPGA). The using hardware FPGA level for data processing will increase processing speed to about 4...5 times (2014-2015).

Section	Line speed, Kbit/s	SNR, dB
String 1	7040	11
String 2	7552	12
String 3	10048	11
String 4	10048	10
String 5	10048	12

The nearest Plans

2014

R&D for the first cluster:

- ☒ New firmware for on-line data processing in the Master (FPGA “hardware” level).
- Modernization RS485 output of the slow control board.

R&D for the array of the clusters:

- 1 kV power supply (pilot samples are testing now);
- cluster time synchronization unit (the in-situ tests at 2015);

Preparation all necessary elements for the 3 additional strings of the first cluster.

2015 . Full scale cluster (8 strings) in Baikal Lake.

2014 – 2016. The organization of Mass production

- Storage space (INR, Dubna, Irkutsk and Baikalsk)
- Additional manpower
- Laboratory rooms and stands
- Long time laboratory tests of electronics, stress tests.

Сравнение экспериментов

Характеристики	Байкал (2015)	Antares (2008)	IceCube (2011)
№ гирлянд	8 (350)	12 (350)	86 (1000)
№ изм. каналов	192	300	5160
ОМ	R7081HQE	R7081	R7081
Поглощение света, м	22	41	50-100
Рассеяние, м	45-65	220	1-5
Свечение среды	Низкое	Сверхвысокое	Сверхнизкое
Агрессивность среды	нет	да	нет
Удаление от берега, км	3.6	40	-
Однородность среды	Однородное, меняется во времени	Однородное, меняется во времени	Неоднородное, не меняется во времени
Простота развертывания	да	нет	нет
Пригодность к ремонту, изменению конфигурации	высокая	низкая	не пригодно
Простота обработки и анализа данных	да	да	нет
Обзор Галактики (средне)	18 ч / сутки	15 ч / сутки	0 ч / сутки