



"Байкальский нейтринный эксперимент".

Восьмые Черенковские чтения, Москва, 14 апреля 2015

Айнутдинов В.М., ИЯИ РАН

Baikal GVD

7 institutes
52 scientists



Author list (2014): 52 Researchers

A.D. Avrorin¹, A.V. Avrorin¹, V.M. Aynutdinov¹, R. Bannash⁷, I.A. Belolaptikov²,
D.Yu. Bogorodsky³, V.B. Brudanin², N.M. Budnev³, I.A. Danilchenko¹,
G.V. Domogatsky¹, A.A. Doroshenko¹, A.N. Dyachok³, Zh.-A.M. Dzhilkibaev^{1a},
S.V. Fialkovsky⁵, A.R. Gafarov³, O.N. Gaponenko¹, K.V. Golubkov¹, T.I. Gress³,
Z. Honz², K.G. Kebkal⁷, O.G. Kebkal⁷, K.V. Konischev², E.N. Konstantinov³,
A.V. Korobchenko³, A.P. Koshechkin¹, F.K. Koshel¹, A.V. Kozhin⁴, V.F. Kulepov⁵,
D.A. Kuleshov¹, V.I. Ljashuk¹, M.B. Milenin⁵, R.A. Mirgazov³, E.R. Osipova⁴,
A.I. Panfilov¹, L.V. Pan'kov³, A.A. Perevalov³, E.N. Pliskovsky², M.I. Rozanov⁶,
V.Yu. Rubtzov³, E.V. Rjabov³, B.A. Shaybonov², A.A. Sheifler¹, M.D. Sheleпов¹,
A.V. Skurihin⁴, A.A. Smagina², O.V. Suvorova¹, V.A. Tabolenko³, B.A. Tarashansky³,
S.A. Yakovlev⁷, A.V. Zagorodnikov³, V.A. Zhukov¹, and V.L. Zurbanov³

¹*Institute for Nuclear Research, Moscow, Russia*

²*Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia*

³*Irkutsk State University, Irkutsk, Russia*

⁴*Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics MSU, Moscow, Russia*

⁵*Nizhni Novgorod State Technical University, Nizhni Novgorod, Russia*

⁶*St. Petersburg State Marine University, St. Petersburg, Russia*

⁷*EvoLogics GmbH, Berlin, Germany*

Нейтринные телескопы

Средиземное море

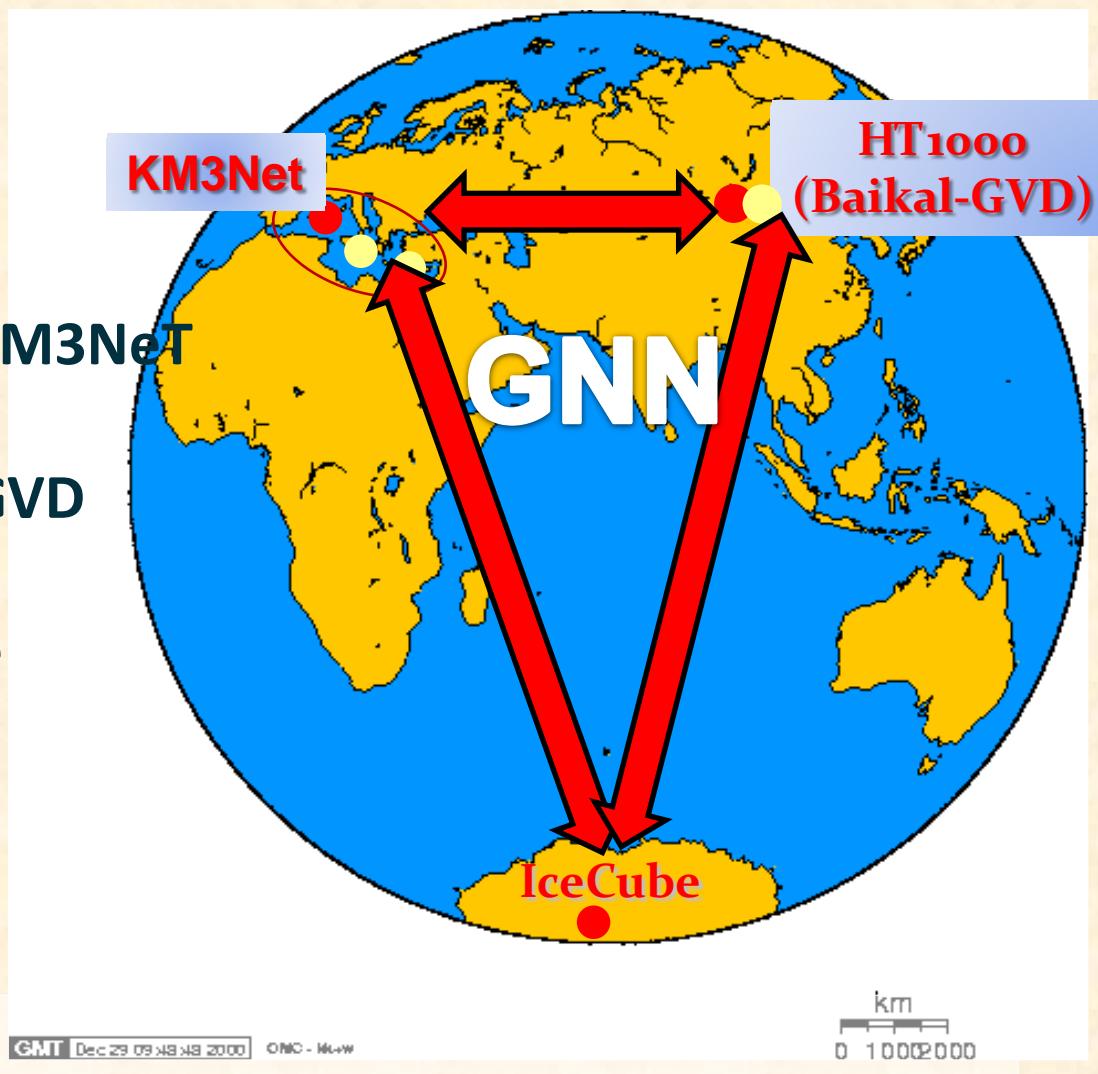
Antares, (Nemo, Nestor) → КМ3NeT

Оз. Байкал

NT200/200+ → Baikal_GVD

Антарктида

AMANDA → IceCube



Проект глубоководного нейтринного телескопа BAIKAL-GVD (HT1000)

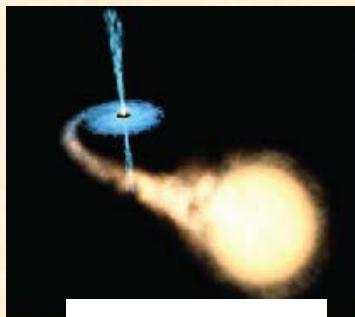
Приоритетные направления исследований:

- Поиск локальных источников нейтрино Галактической и внегалактической природы при энергиях выше 1 ТэВ
- Исследование диффузного потока – энергетического спектра, локальной и глобальной анизотропии, состава по типам нейтрино.
- Источники переменной светимости - гамма-всплески и др.
- Поиск проявления массивных частиц темной материи.
- Экзотика: магнитные монополи, Q-balls, nuclearites, и др.

Галактические / Внегалактические объекты



SNR



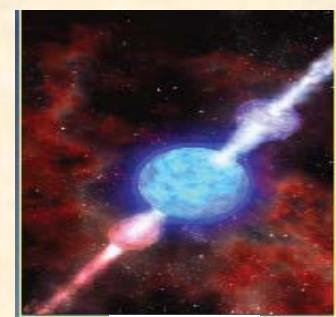
Двойные
системы



Пульсары

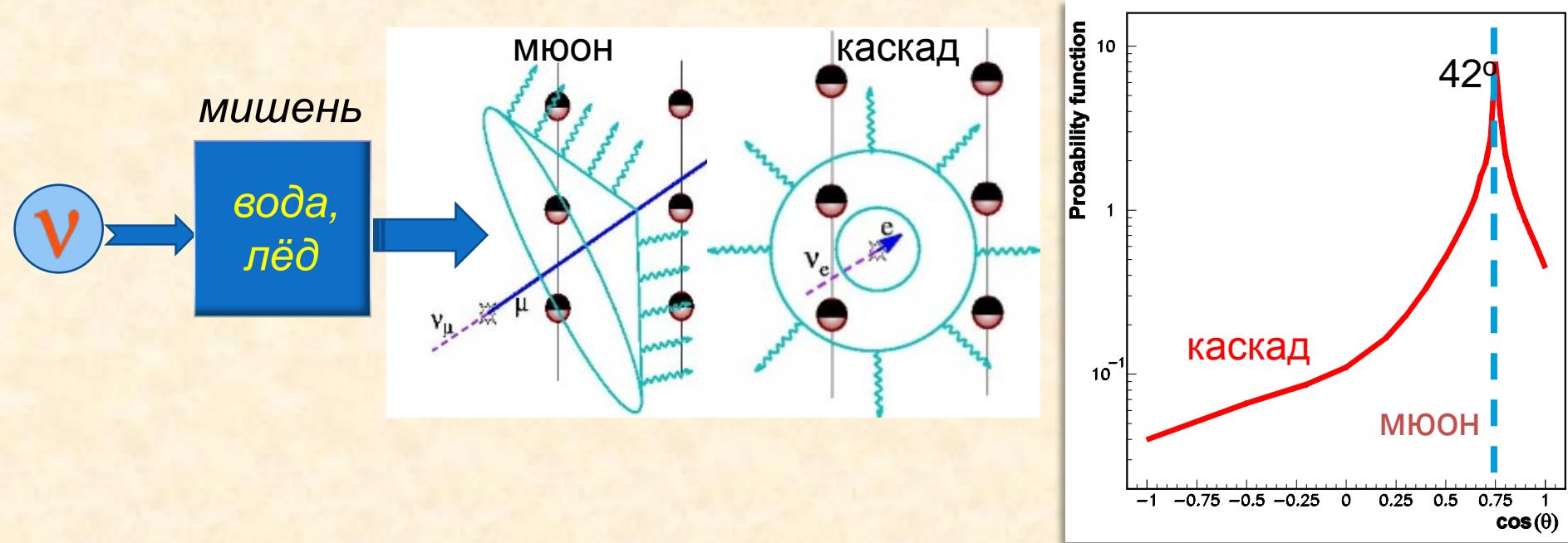


AGN



GRB

Методика регистрации

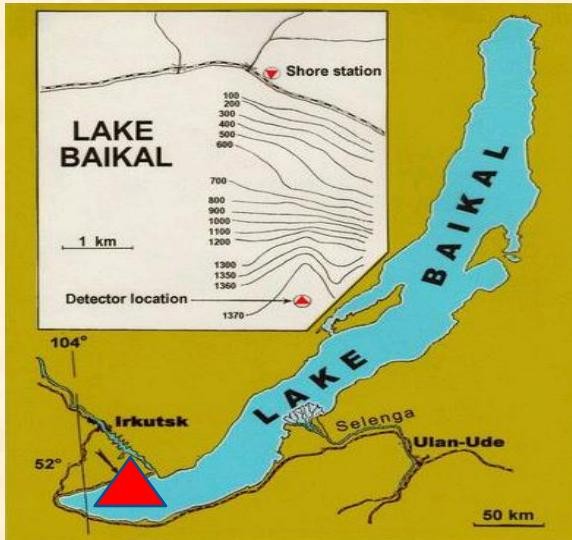


Нейтриноные телескопы представляют собой
пространственно-распределённую структуру
фотодетекторов.

Получаемая информация – отклик фотодетекторов на
чертенковское излучение.

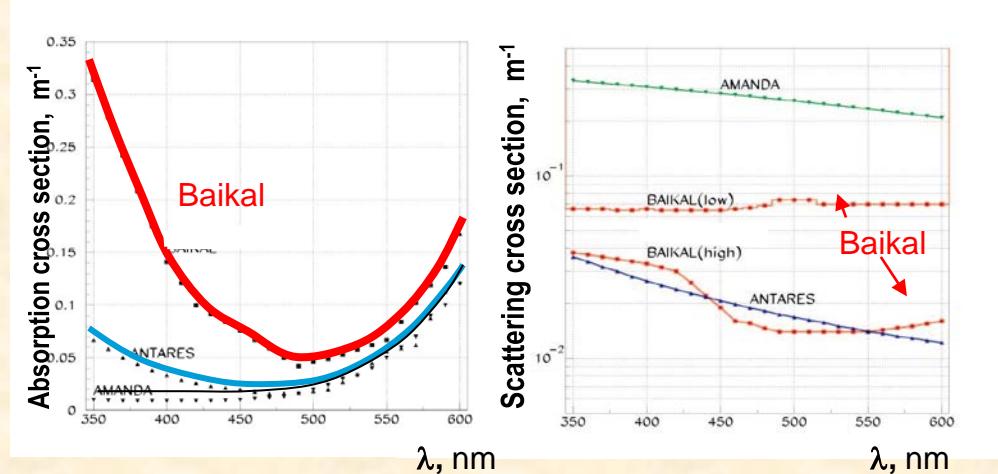
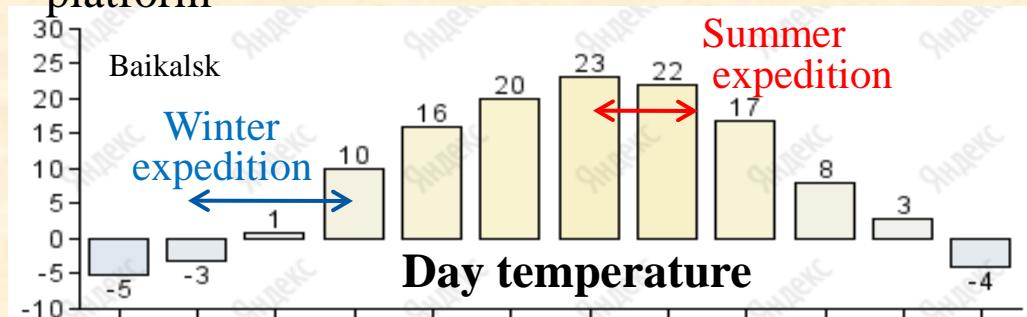
The BAIKAL Site

Lake Baikal, Siberia

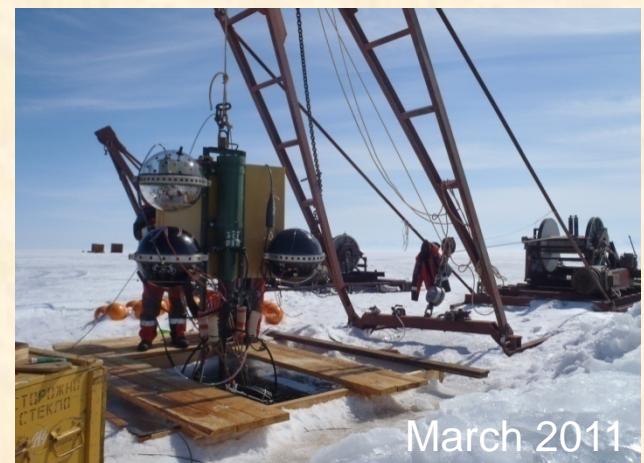


1370 m maximum depth.

- Distance to shore ~4 km
- No high luminosity bursts from biology.
- No K^{40} background.
- Deployment simplicity: ice is a natural deployment platform



Baikal water properties: Abs.Length: 22 ± 2 m
Scatt.Length: 30-50 m



March 2011

Sky coverage

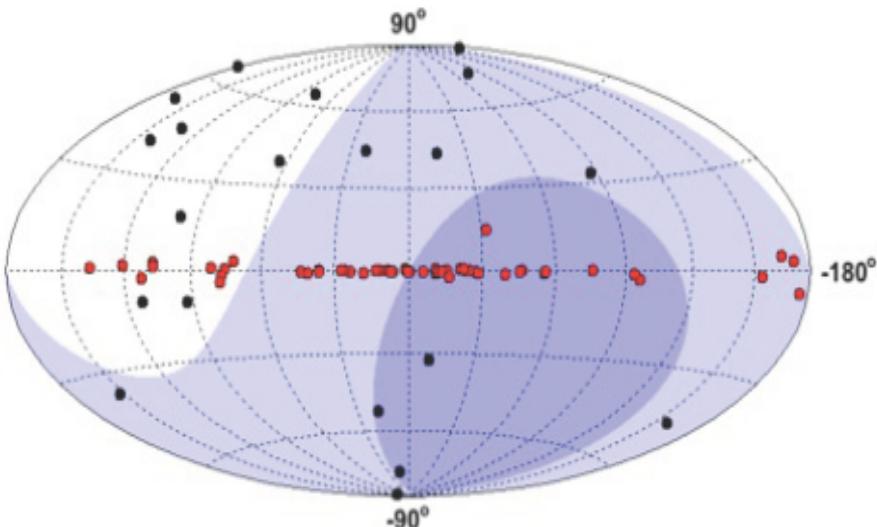
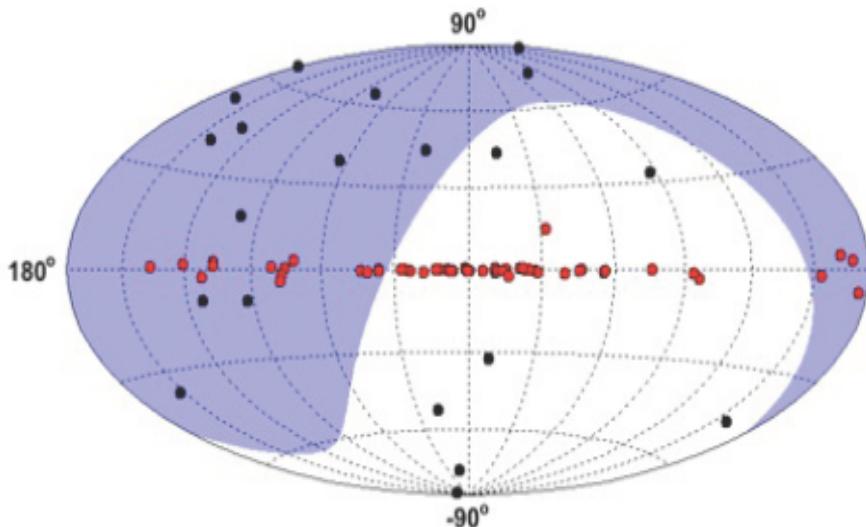
Location: 104°25' E; 51°46' N

Visibility South Pole (IceCube)

- 100%
- 0%

Lake Baikal

- > 75%
- 25% – 75%
- < 25%



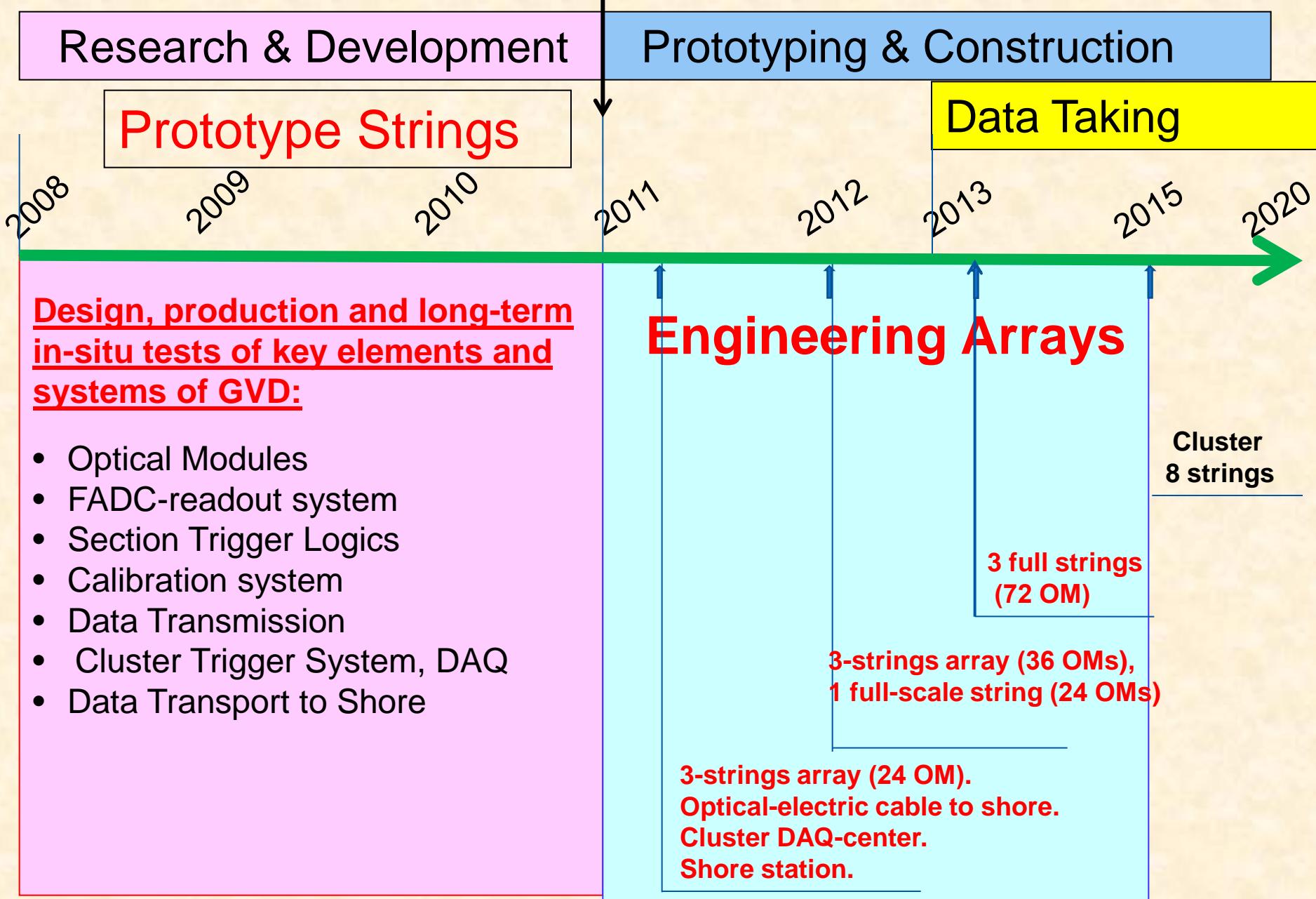
TeV gamma-ray sources

- Galactic
- extragalactic

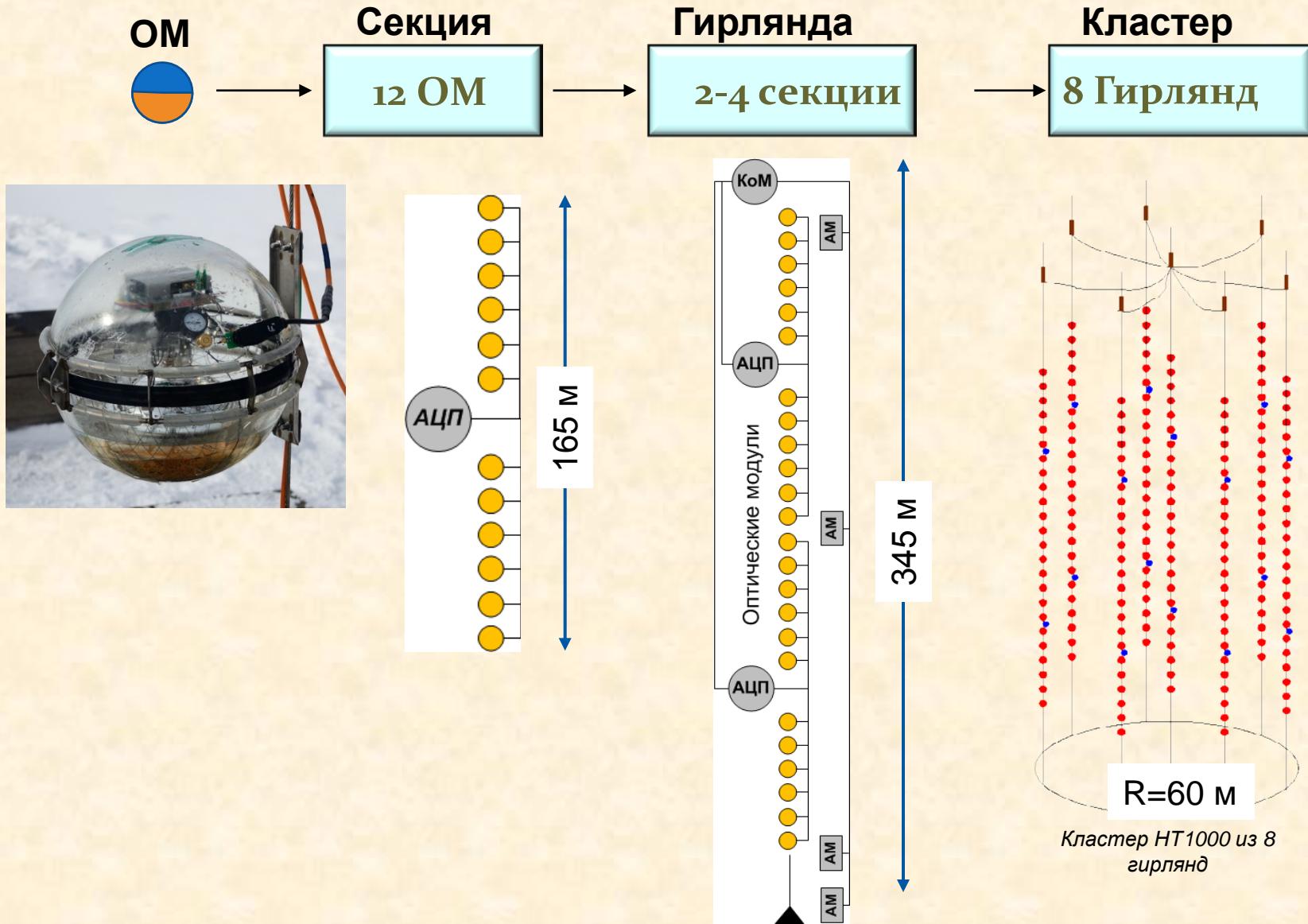
Project time-line

STReport

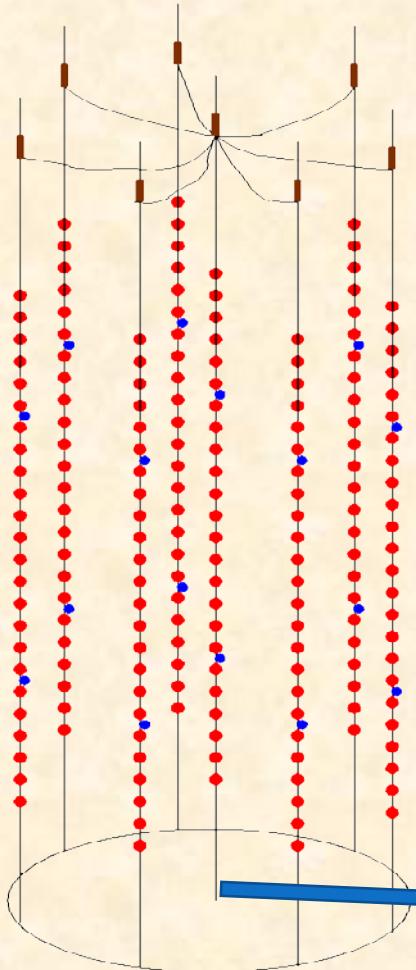
<http://baikalweb.jinr.ru/GVD>



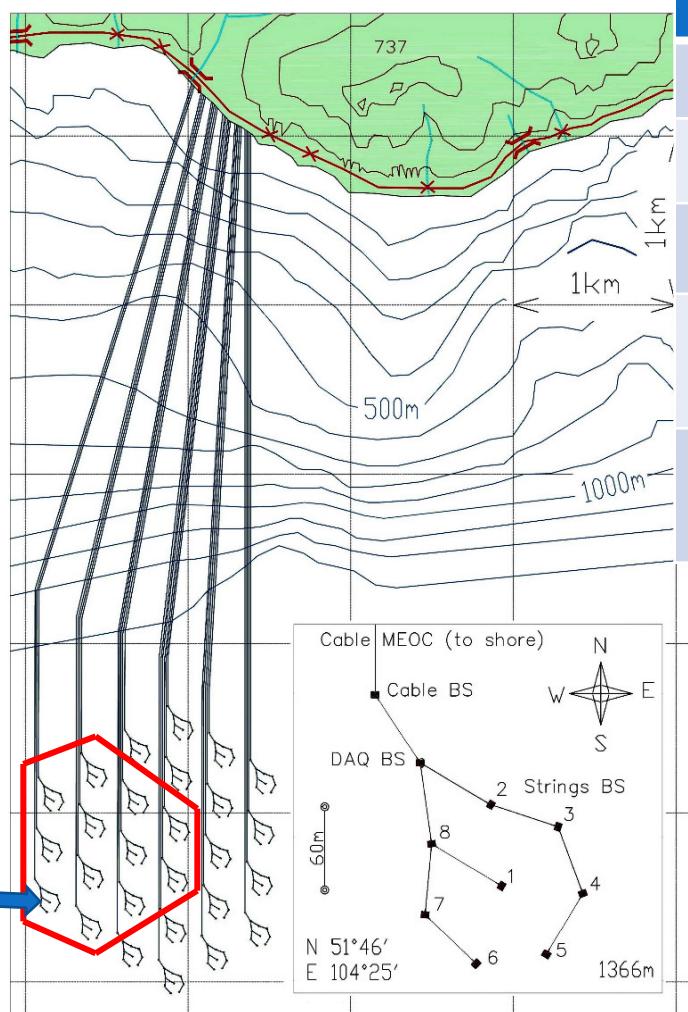
Структурные элементы GVD



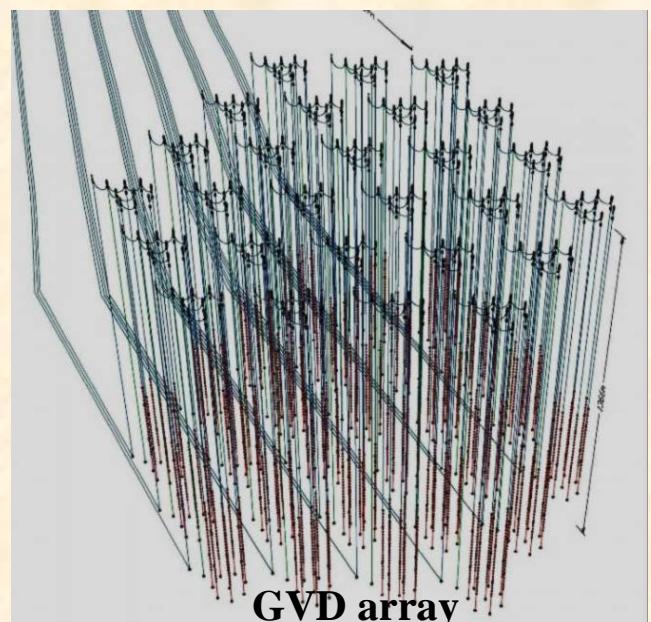
Gigaton Volume Detector (Baikal-GVD)



Кластер HT1000 из 8
гирлянд



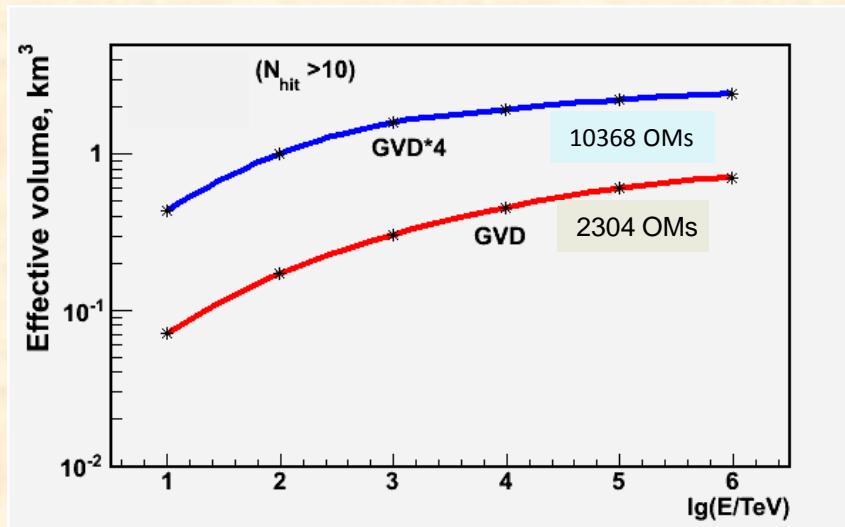
	GVD (2020)	4*GVD
OMs	2302	10368
Clusters	12	27
Sections	2/Str.	4/Str.
Depths, m	950 – 1300	600 – 1300
Instr. volume	0.4 km ³	1.5 km ³



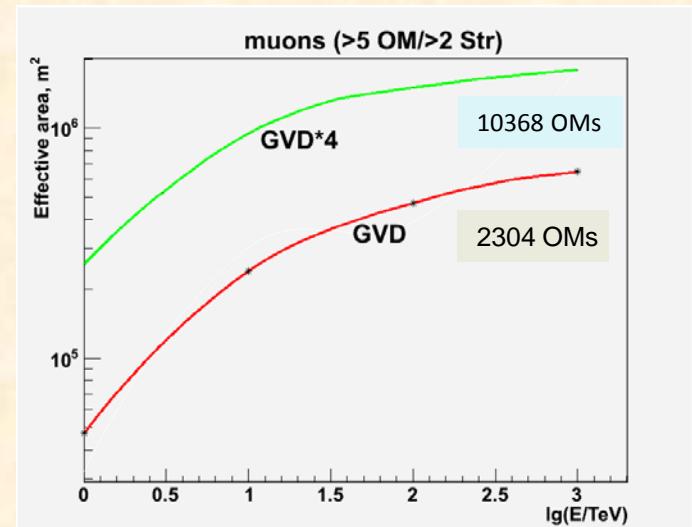
GVD array

GVD Performance

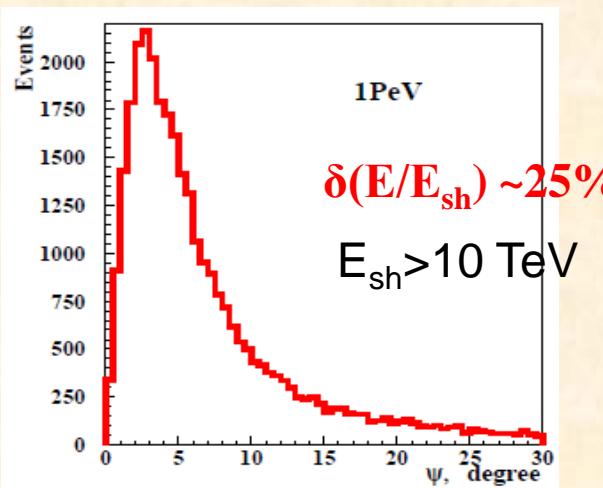
Effective volume for cascades



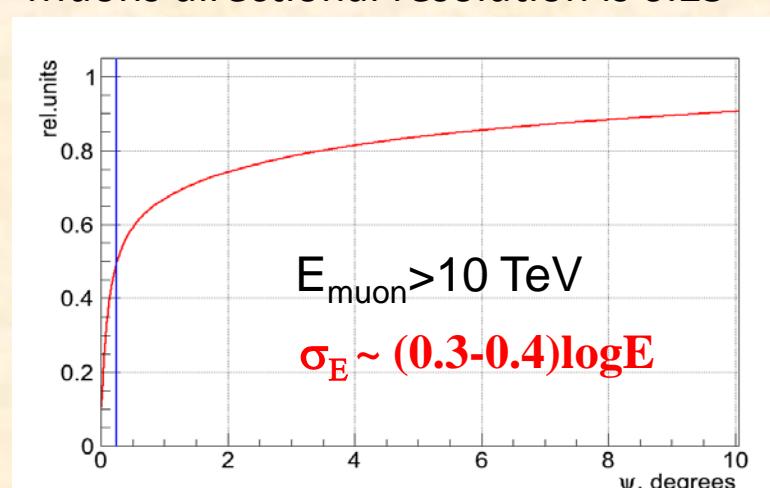
Effective area for muons



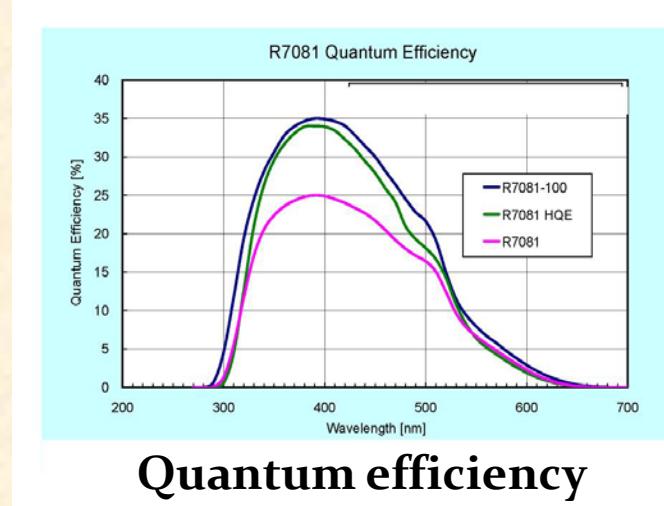
Cascades directional resolution is 3.5° – 4.5°



Muons directional resolution is 0.25°

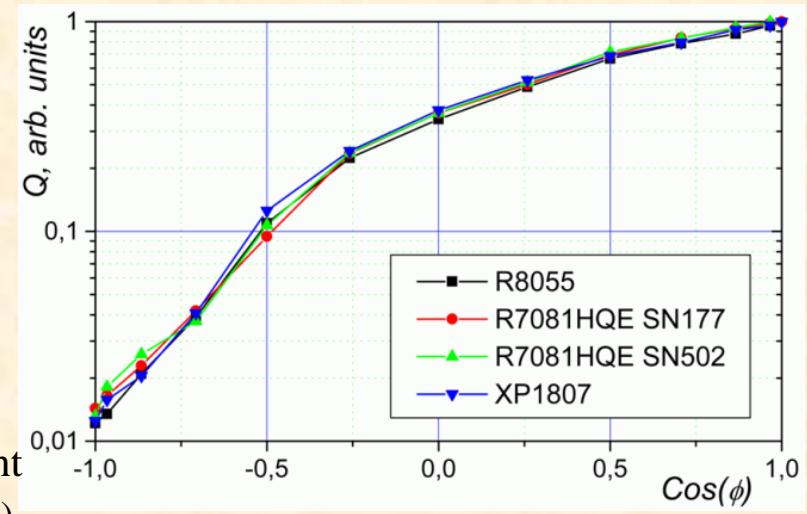
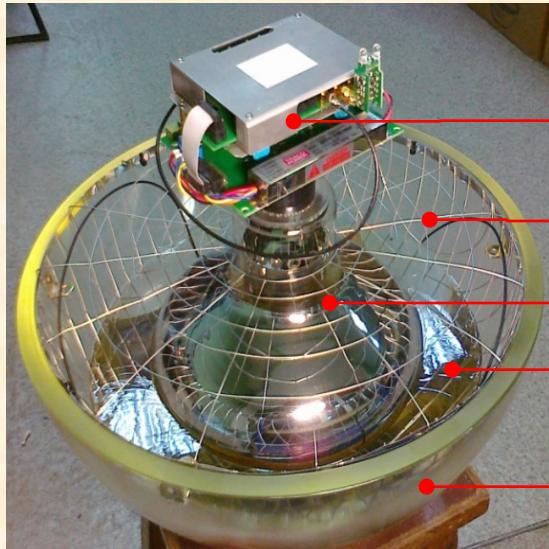


Оптический модуль



D=10 inch. SBA photocathode QE $\approx 35\%$ @ 400nm; Gain $\sim 10^7$, dark count ~ 8 kHz

Angular sensitivity



Электроника оптического модуля



HV converter: SHV 12-2.0 K 1000 P

0 ... + 2000 VDC, stability 0.05%

ripple and noise 8 mVpk-pk

Passive divider: 18 MΩ

2-channel amplifier: Output channel and

PMT noise monitoring channel.

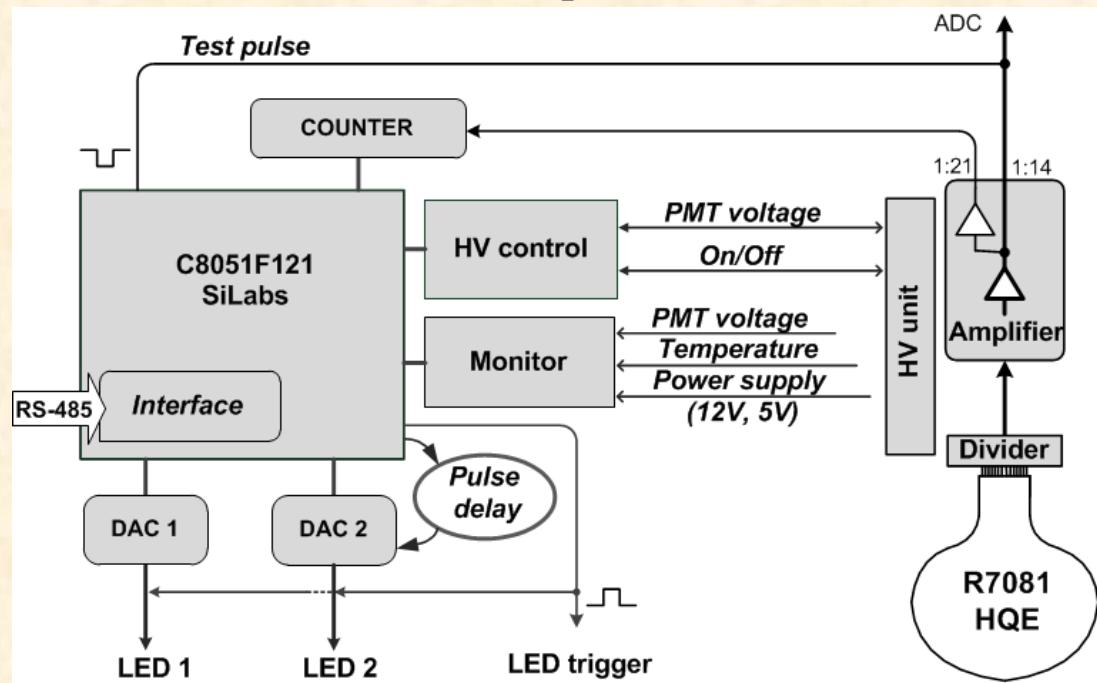
2 LEDs L7113: 470 nm, 5-7 ns

- regulation of intensities in the range

1 ... $\sim 10^8$ photons (100m Baikal water)

- LED pulse delay regulation: 0 ... 1000 ns

Functional scheme of the optical module electronics



Slow control board: SiLabs C8051F121

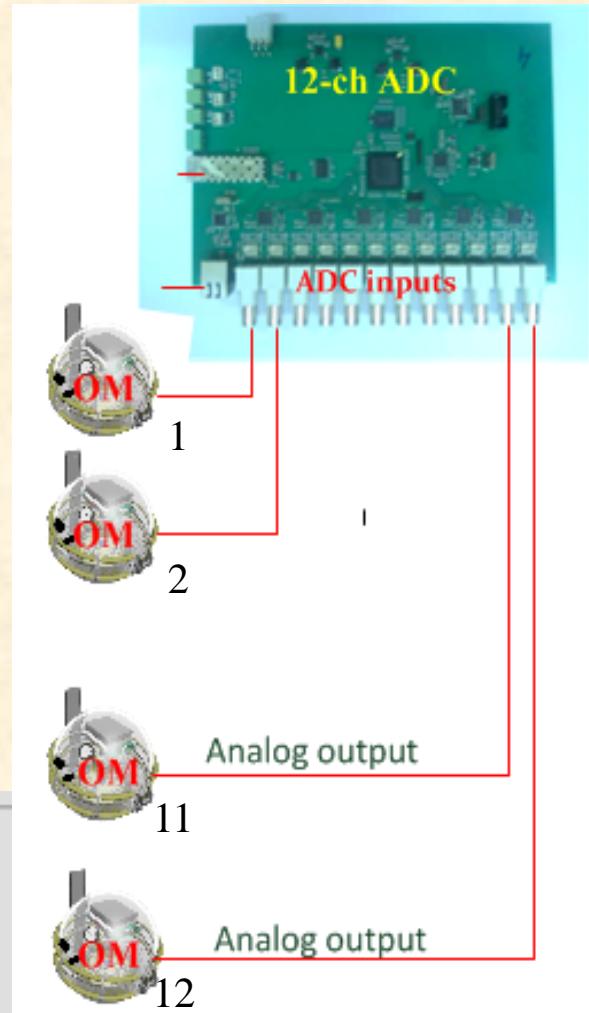
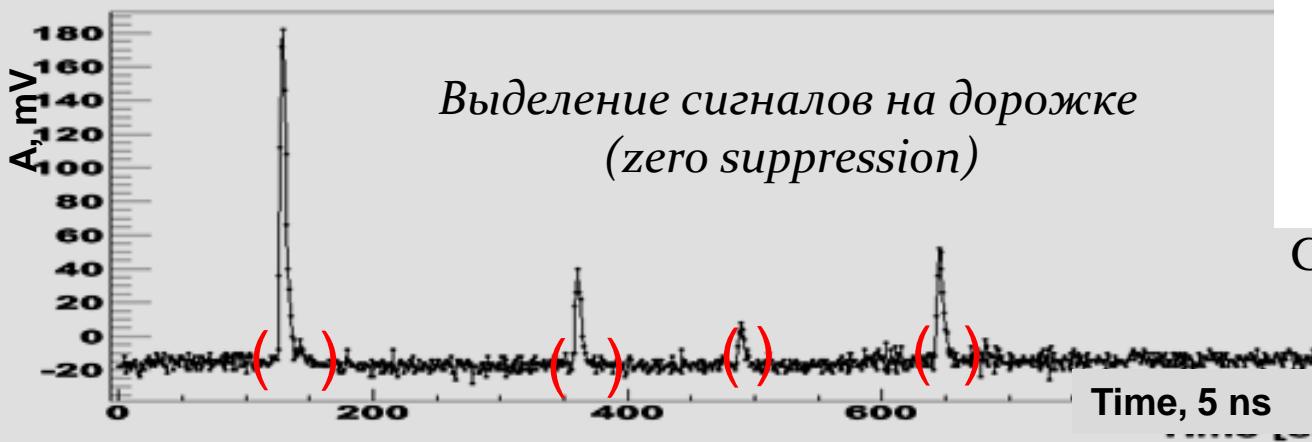
Control of electronics operation and monitoring of PMT parameters via RS485 interface.

Power consumption – max 0.3A×12V

Измерительный канал



- PMT: nominal gain: 1×10^7 ; Amplifier: $k_{amp}=14$; Cable: ~0.7: **10^8 in total**
- Pulse width after cable: ~20 ns FWHM.
- FADC: 4V. 12 bit, 5 ns time bin.
- Linearity range: 1 – 10^2 p.e.;
- Count rate (0.3 PE) ~ 25 kHz in average (2014).
- Threshold (min): ~ $0.20 \times A_{pe}$ ($A_{pe} \sim 25$ mV)
- Max. trigger rate: ~ 1 kHz.



GVD Section: 12 channels

Секция

Section (basic DAQ cell) – 12 OM and Section electronics module (SeM).

12-channel ADC unit: PMTs analog pulse conversion, time synchronization, data processing, local trigger.

Data transmission: Two outputs of ADC board: optical output (for future detector extension) and 100 BASE-TX (present stage).

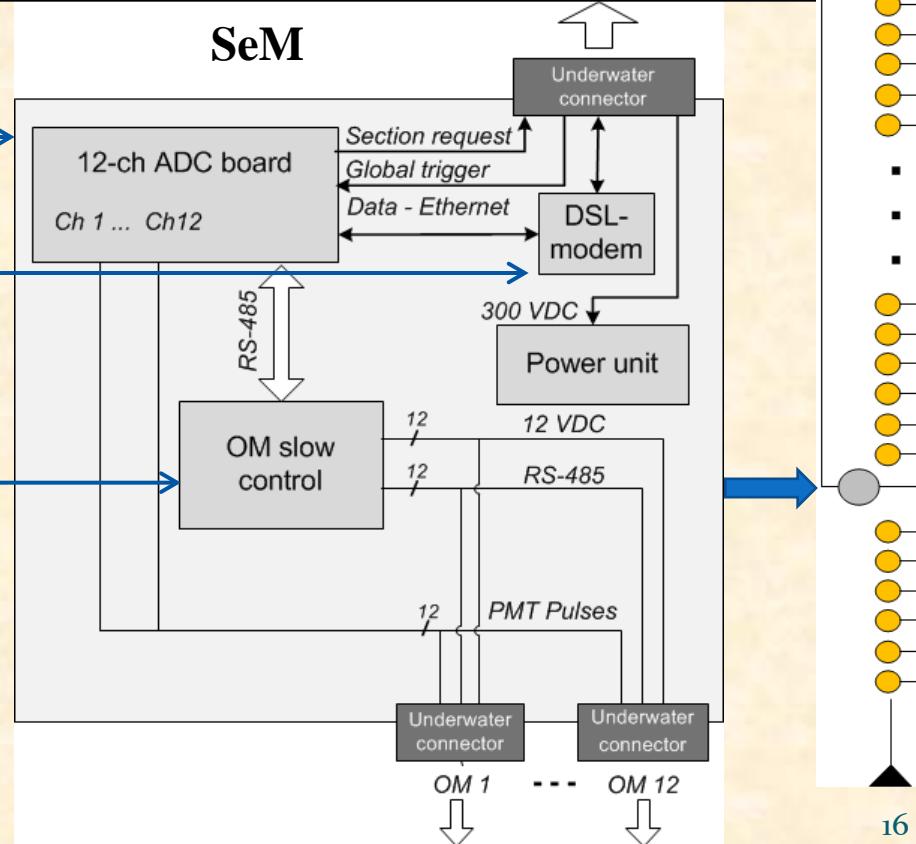
shDSL modem: Extending the Ethernet line up to 1 km.

Slow control board: OM power on/off and control of OM operation (RS485).



MOXA IEX-402-SHDSL

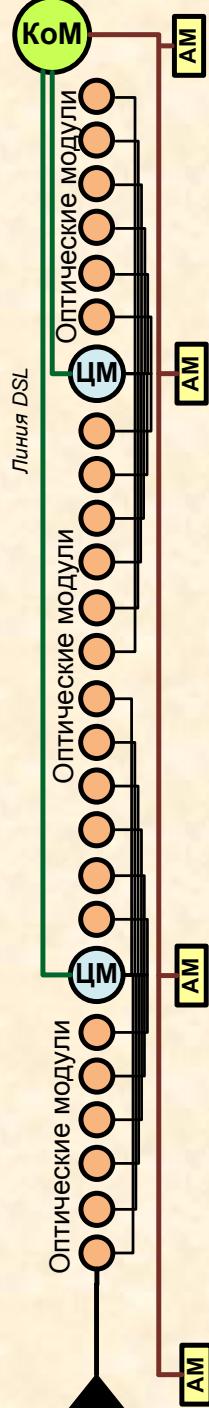
ADC



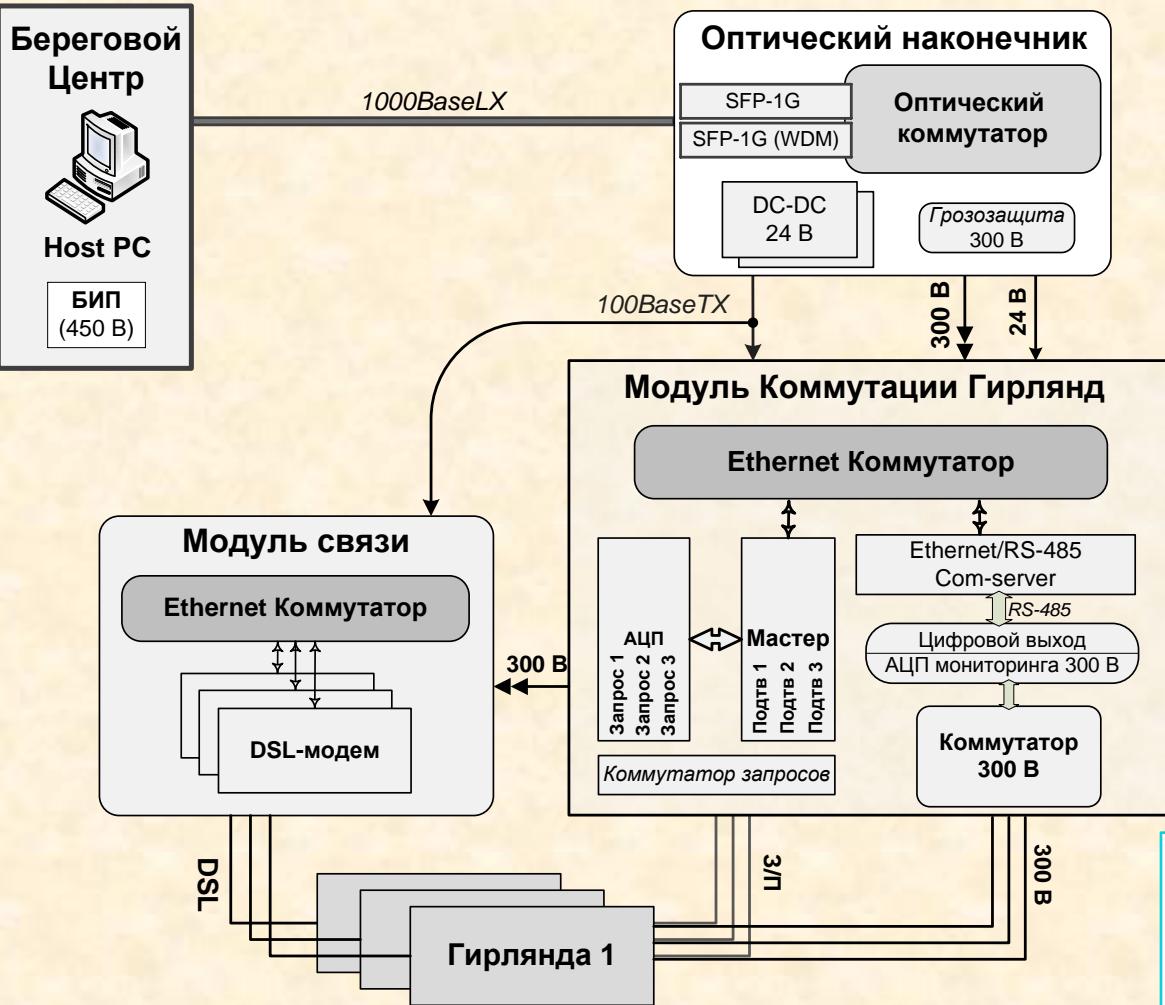
Гирлянда

Коммутационный модуль объединяет 2-4 секции

- Передача данных – линия DSL
- Объединение системы формирования триггера
- Управляет питанием ЦМ, ОМ, периферии – Коммутатор питания



Центр кластера



Формирование триггера
2 платы АЦП (8 каналов)
плата Мастер:

- оцифровка триггерных запросов 8 гирлянд
- выработка глобального триггера на 8 гирлянд

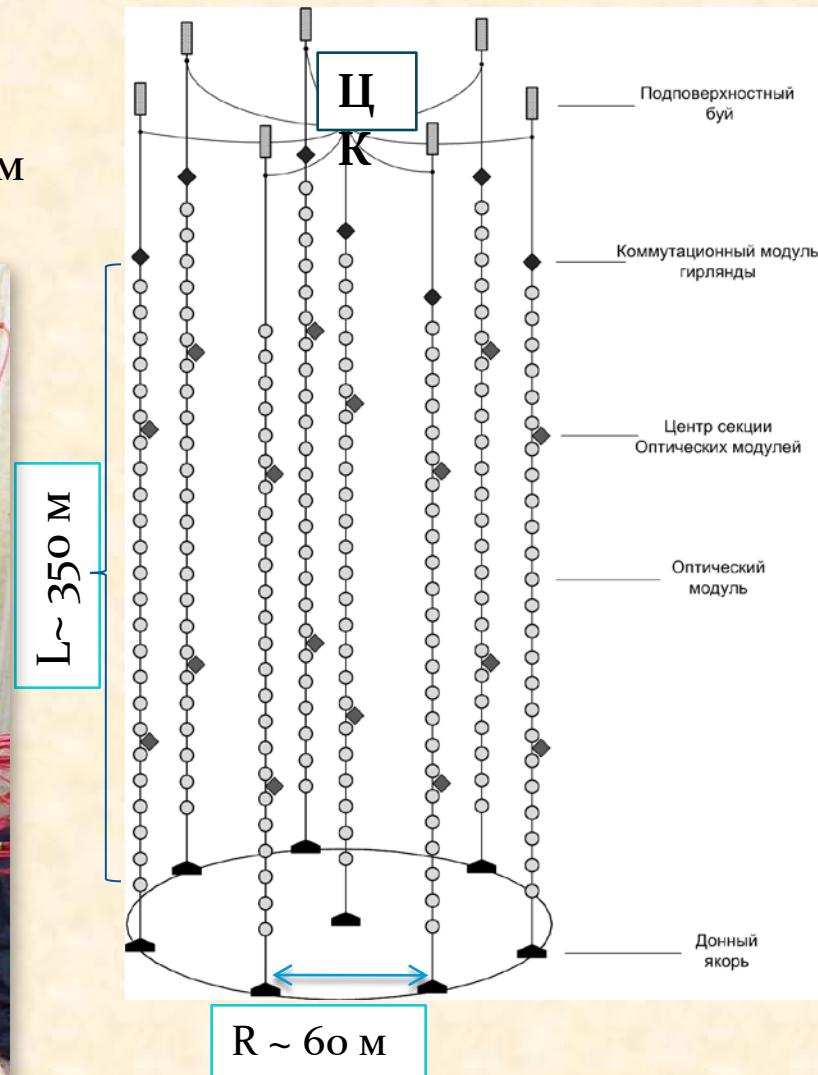
Управление электропитанием:
300VDC 12-канальный релейный коммутатор.

Модуль связи:
Сбор данных с 8 гирлянд
Преобразование линий данных DSL в Ethernet (100BASE-TX)

Кластер

Кластер - полнофункциональная регистрирующая система, работающая как автономно, так и в составе полномасштабного детектора

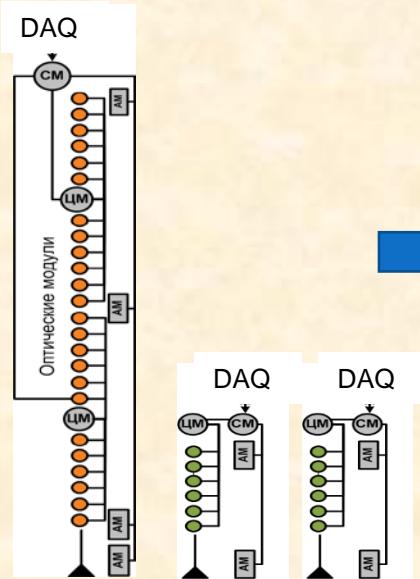
- Иерархическая структура построения систем электропитания и сбора данных
- Оптическая система связи с Береговым Центром
- Синхронный режим работы гирлянд кластера



Engineering arrays (2012-2014)

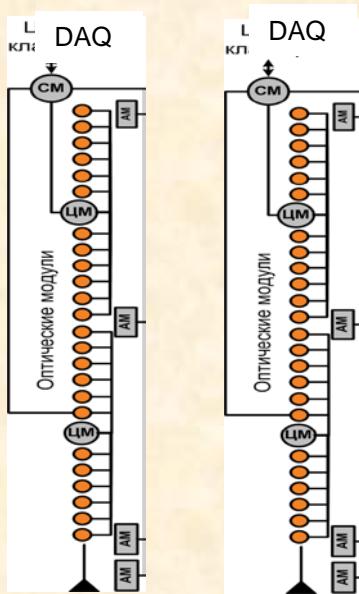
2012

3 strings, first full-scale
GVD string (24 OMs)
Data taking from
April 2012 – Feb. 2013.



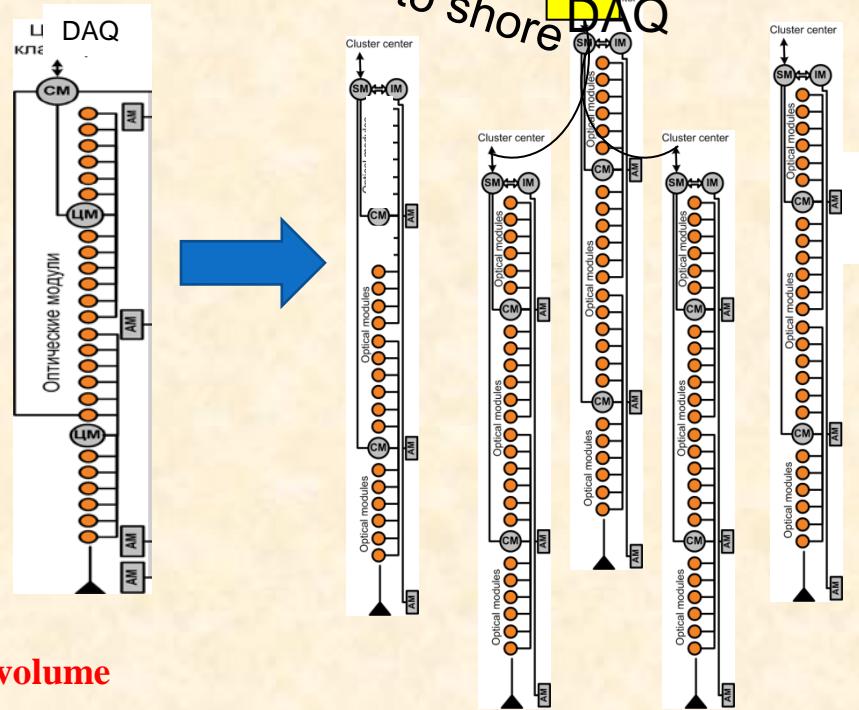
2013

3 full-scale strings (72 OMs),
update of section electronics
Data taking
April 2013 – Feb. 2014



2014

5 strings (112 OMs)
Data taking since
April 2014 - now

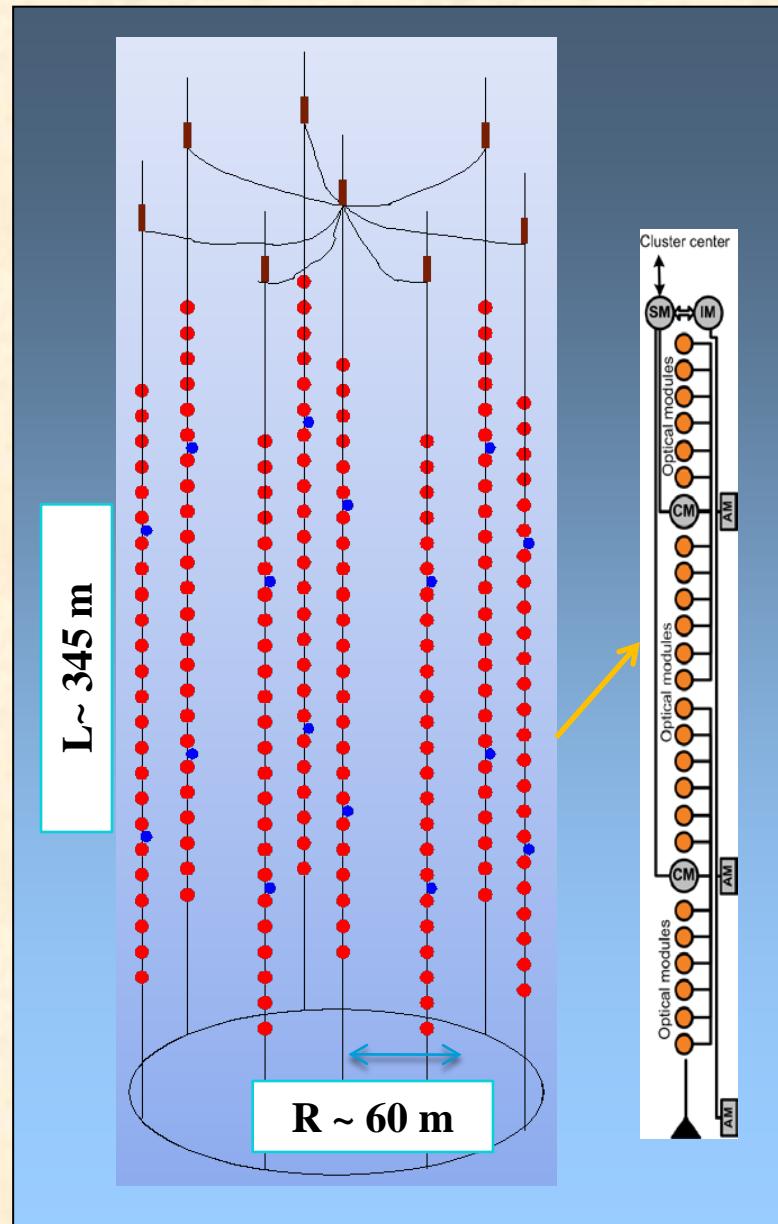


$\sim 10^6 \text{ m}^3$ instrumented volume

$\sim 2 \times 10^6 \text{ m}^3$

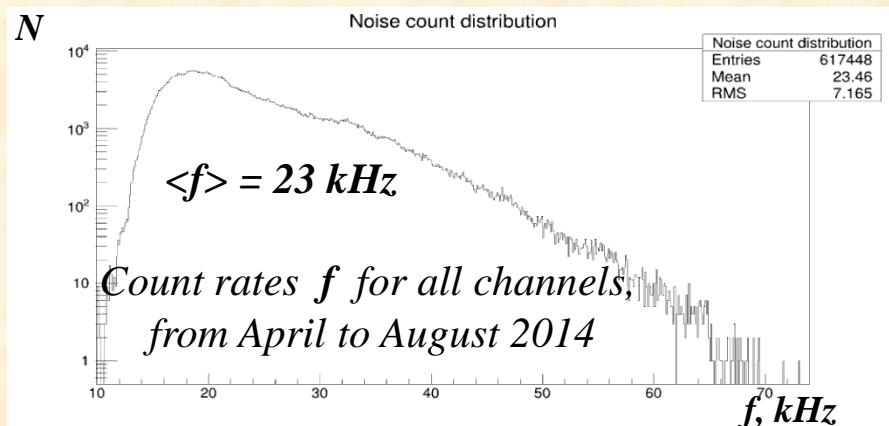
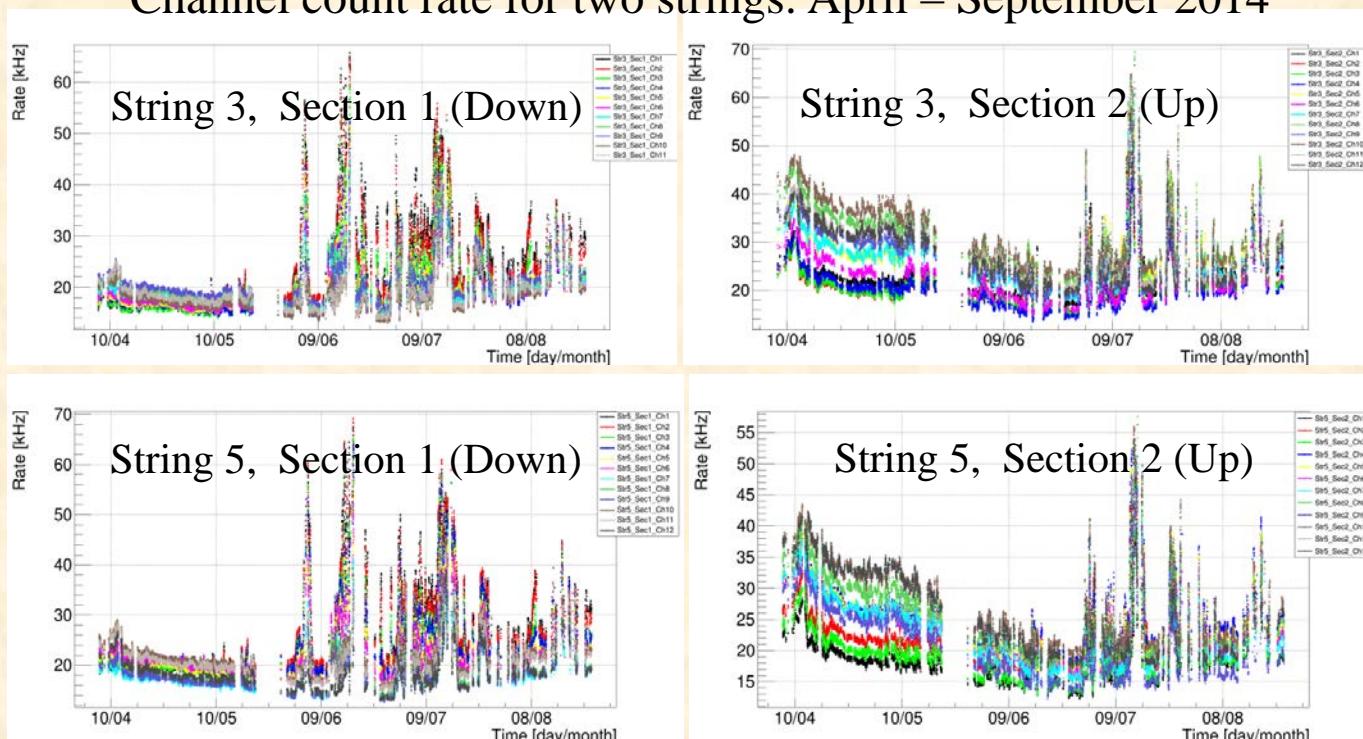
Первый кластер GVD – Апрель 2015

- 192 OMs at 8 Strings
 - 2 Sections per String
 - 12 OMs per Section
- DAQ-Center
- Optical cable to Shore
- Acoustic Positioning System
- Active depth 950 – 1300 m



Фоновые условия регистрации

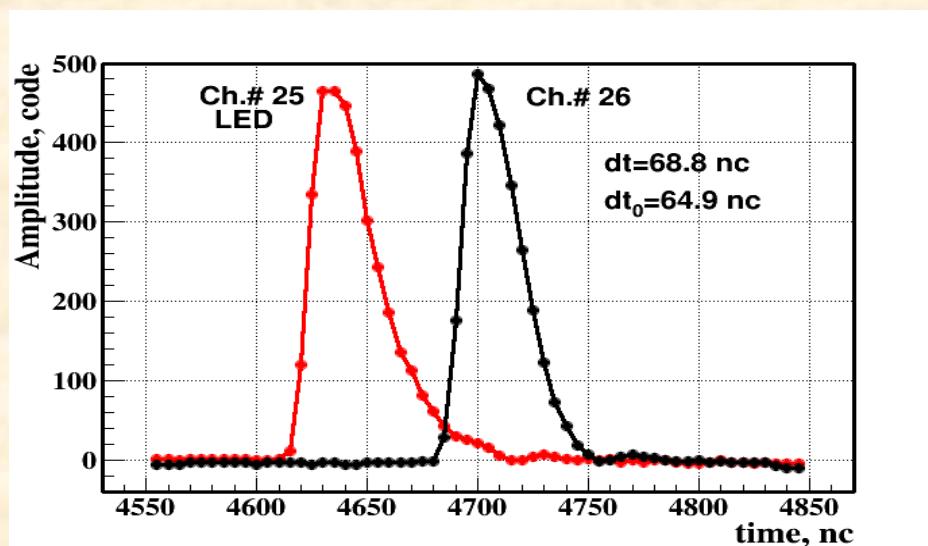
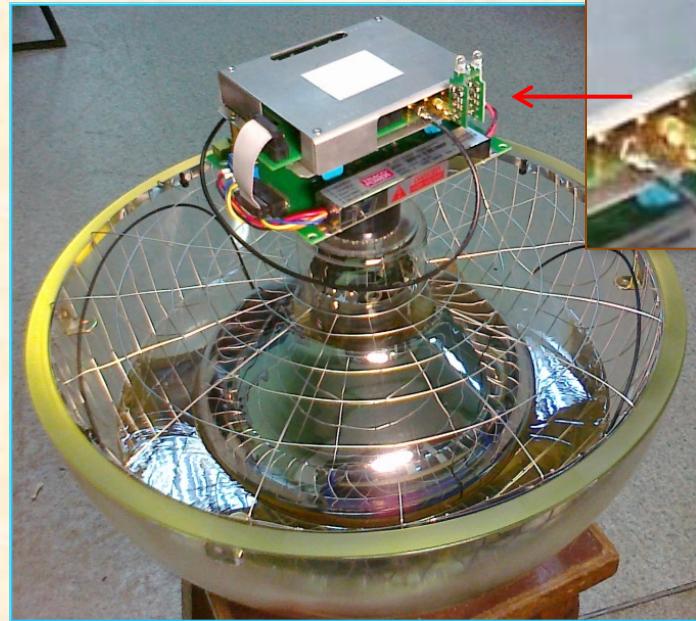
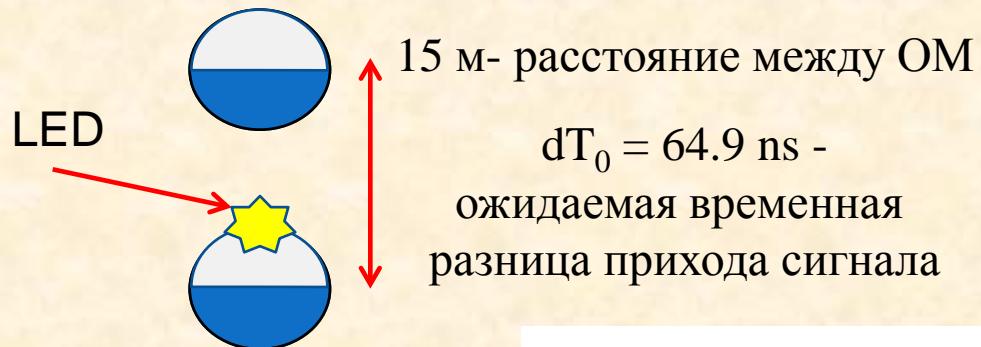
Channel count rate for two strings: April – September 2014



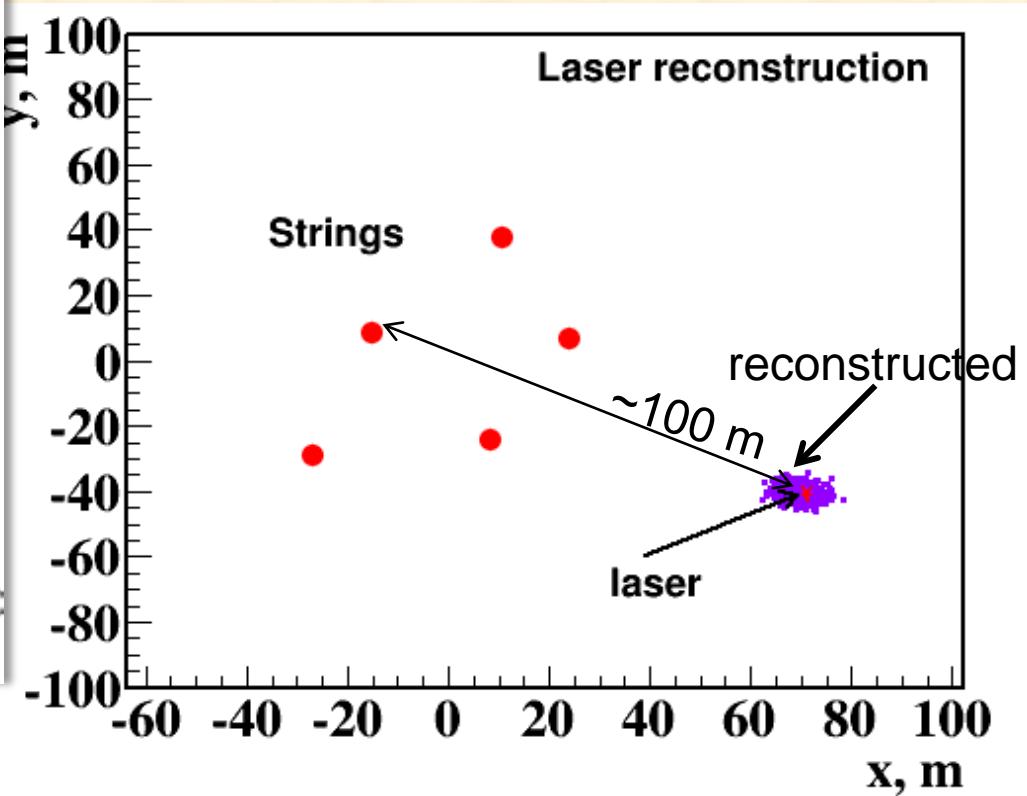
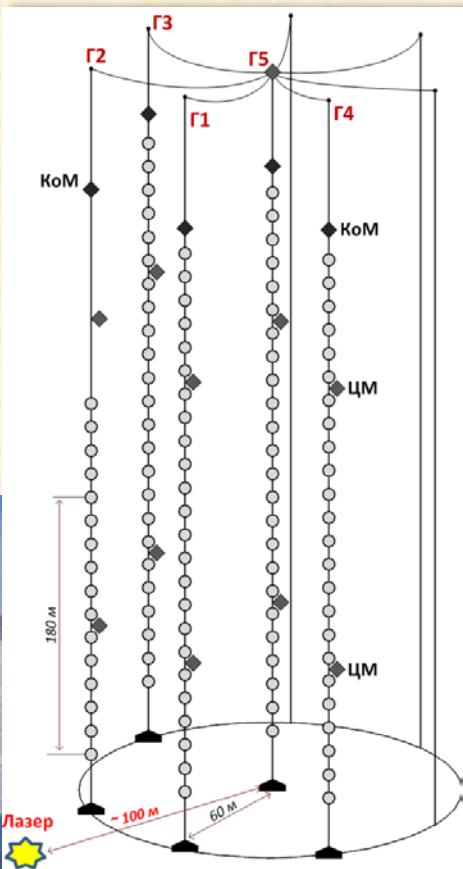
1. Significant count rate variations depending the season (chemiluminescence).
2. Strong correlation between peak of activity.
3. Average count rate $\sim 20\text{-}25 \text{ kHz}$ (0.3 p.e.)

Временная калибровка каналов

Измерение временной задержки
между двумя каналами



Восстановление положения лазерного источника



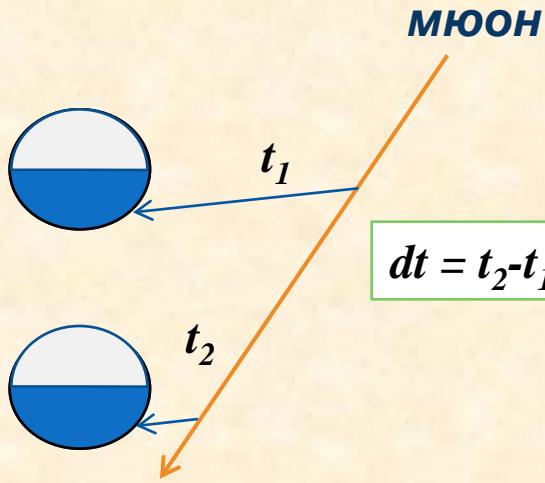
-Five fixed intensities:

$\sim 10^{12} - 6 \times 10^{13} \gamma / \text{pulse}$

(**~10 PeV – 600 PeV shower energy**)

Reconstruction accuracy (median value)
of laser position $\sim 3 \text{ m}$

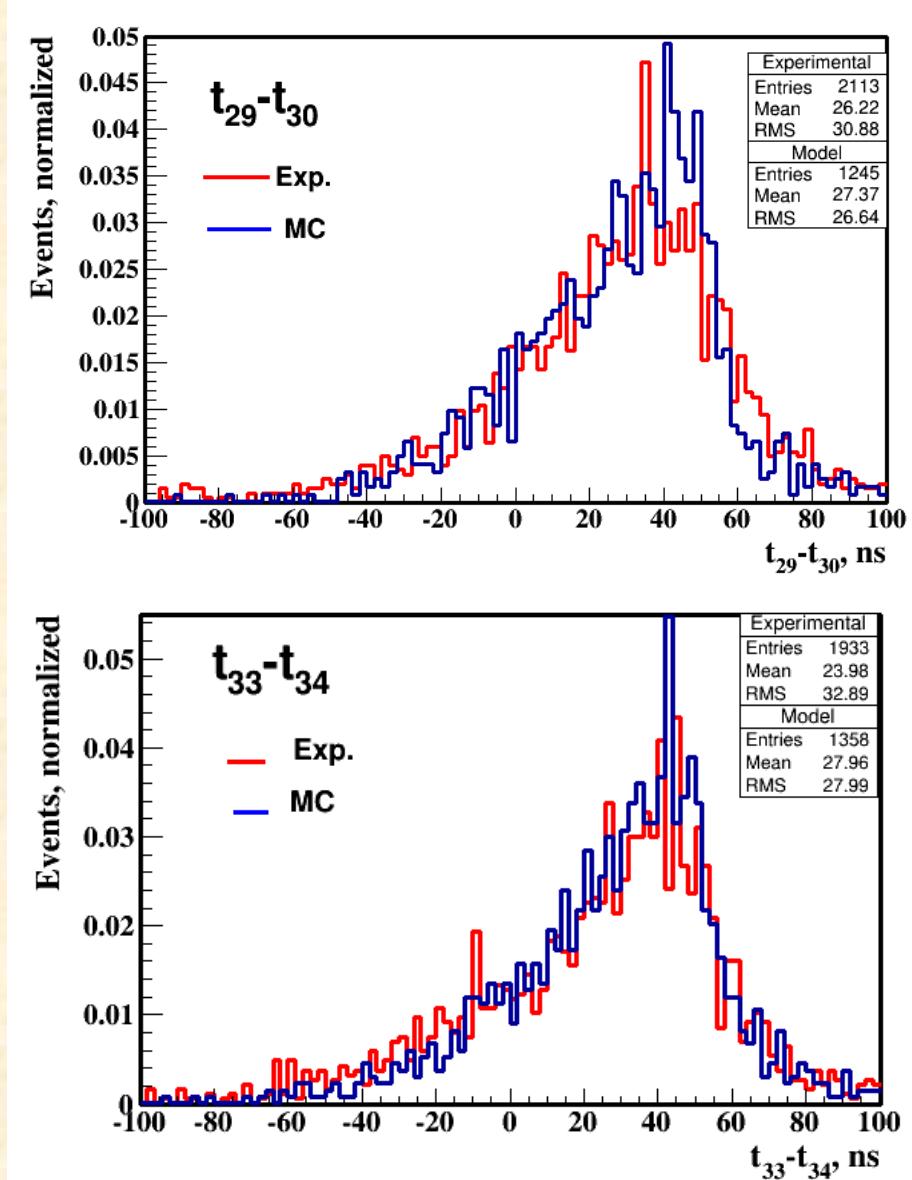
Регистрация мюонов



Триггер:
совпадение двух соседних ОМ с
низким и высоким порогами,
работа секций синхронизована
общим триггером

Программный отбор – $Q > 2$ ф.э.

Калибровка каналов:
светодиодные источники



dt распределение между соседними каналами

Заключение

- В период 2008-2011 завершена разработка основных элементов и подготовлен технический проект Байкальского нейтринного телескопа.
- Этап макетирования заканчивается в 2015 году со вводом в эксплуатацию и испытаниями первого кластера Baikal-GVD (8 гирлянд, 192 ОМ).
- Завершение первого этапа строительства Нейтринного телескопа в оз. Байкал с эффективным объемом 0.4 km^3 планируется в 2019-2020.

Спасибо за внимание

