



Установка TAIGA-Muon: основные цели, опыт развертывания первых станций и современный статус

Е.А.Кравченко

НГУ/ИЯФ СО РАН

Задачи установки TAIGA-Muon

- 2015 год – начало работы установки Tunka-GRANDE – 19 станций (12 наземных + 8 подземных счетчиков в каждой) на площади $\sim 0.8 \text{ км}^2$. $S_{\Sigma \text{дет}} \sim 150 + 100 \text{ м}^2$. Основные задачи – поиск диффузных гамма-квантов, изучение массового состава ПКЛ при энергиях 10^{16} - 10^{18} эВ.
- Перспективное направление – гамма-астрономия при энергиях 10^{14} - 10^{16} эВ, возможность совместной работы с HighScore → хорошее угловое и энергетическое разрешение + возможность разделения ШАЛ от γ/π по сцинтилляционным детекторам.
- Научные задачи: поиск Пэватронов, аксион-фотонная конверсия, проверка Лоренц-инвариантности и др.

Разработка счетчиков для TAIGA-Muon(1)

Для регистрации ШАЛ и γ/p разделения в области 10^{14} - 10^{16} эВ необходимо:

- $S_{\Sigma\text{дет}} \sim 2000 \text{ м}^2 \rightarrow$
 - недорогие, технологичные сцинтилляционные детекторы с $S \sim 1 \text{ м}^2$
 - простота развертывания станций $\rightarrow$ счетчики закапываются на глубину $\sim 2 \text{ м} \rightarrow$ герметичный корпус для защиты от грунтовых вод

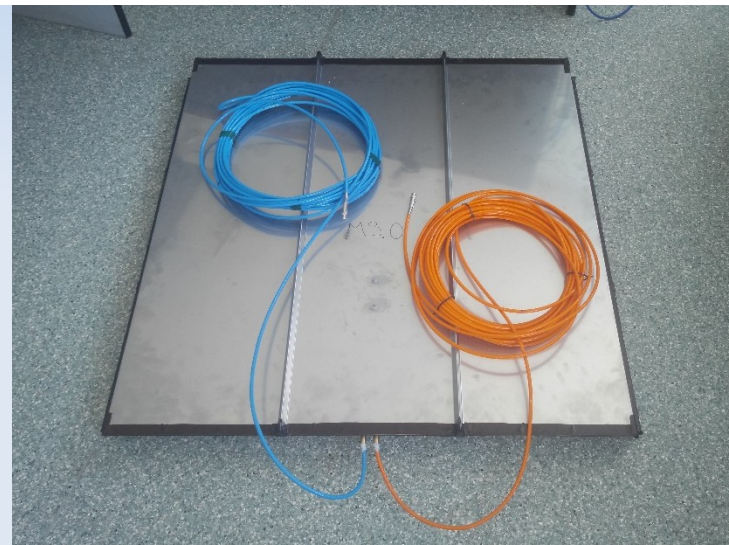
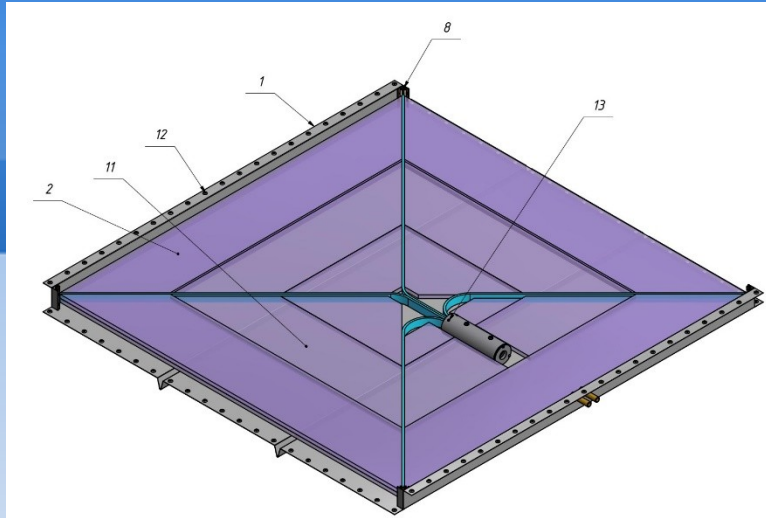
Разработка счетчиков для TAIGA-Muon(2)

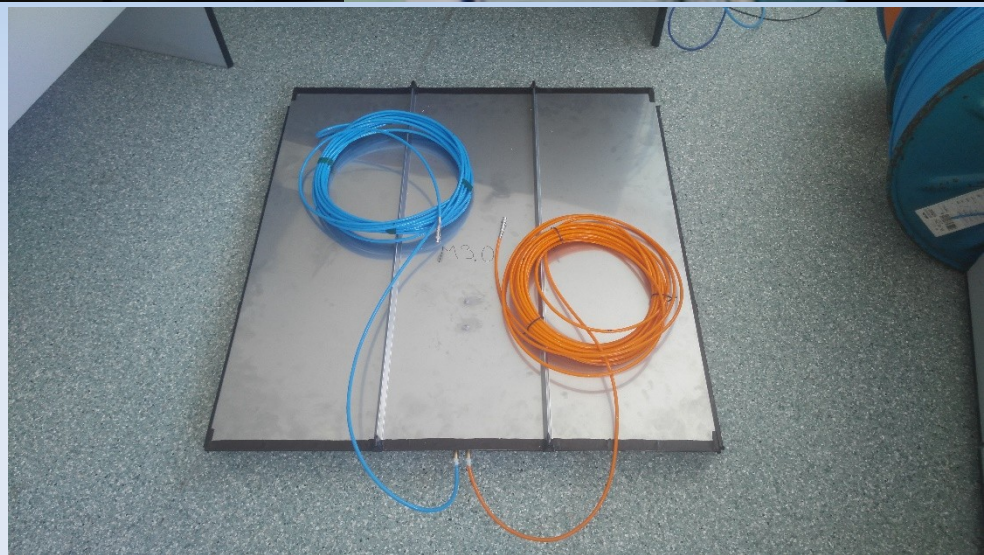
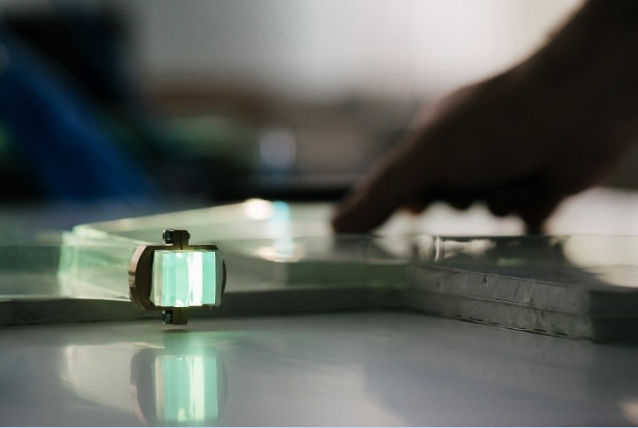
Особенности конструкции:

- Светосбор на переизлучающие пластины (сечение 5x20 мм)
- Боковые поверхности сцинтилляционных пластин не обрабатываются, фрезеруется только торец со стороны переизлучателя
- Небольшой ФЭУ (ФЭУ-85-4) $\varnothing_{\text{фк}}=25\text{мм}$
- Тонкий счетчик $\rightarrow$ толщина сцинтиллятора 1-2 см.
- Нержавеющий герметичный корпус

28 Сентября 2020

ВККЛ-2020

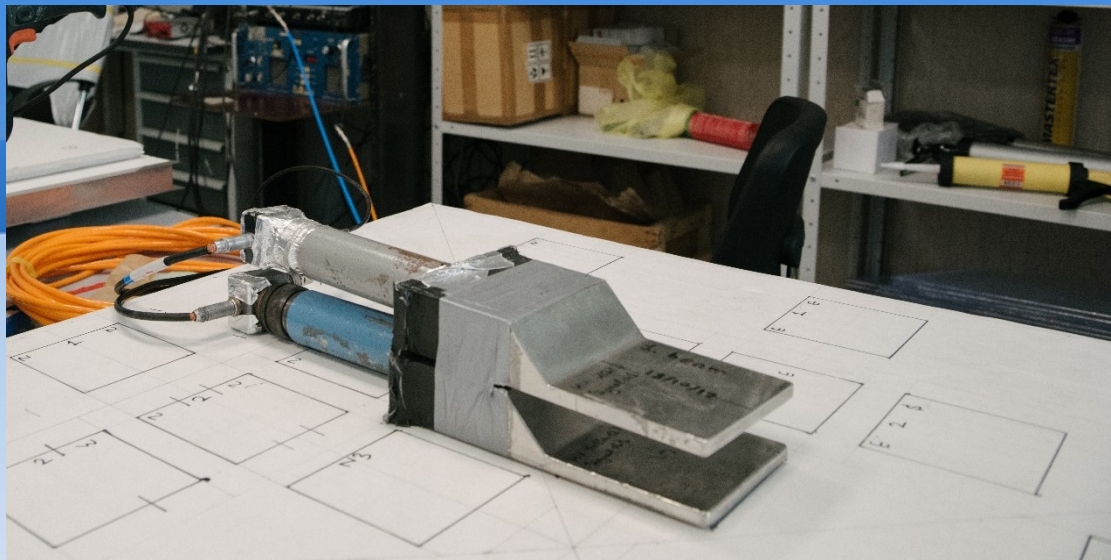




28 Сентября 2020

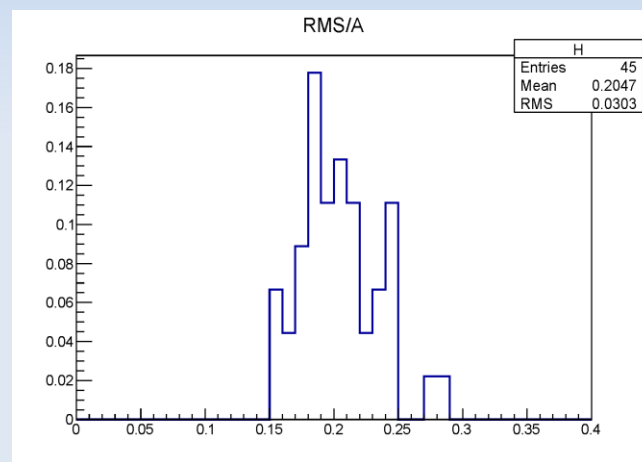
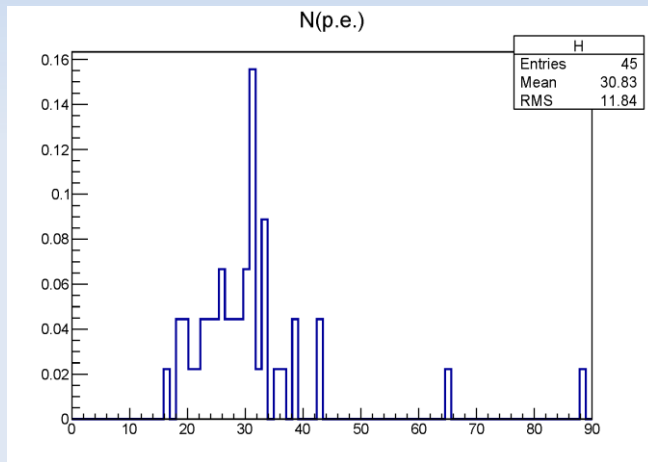
ВККЛ-2020

Основные параметры детекторов

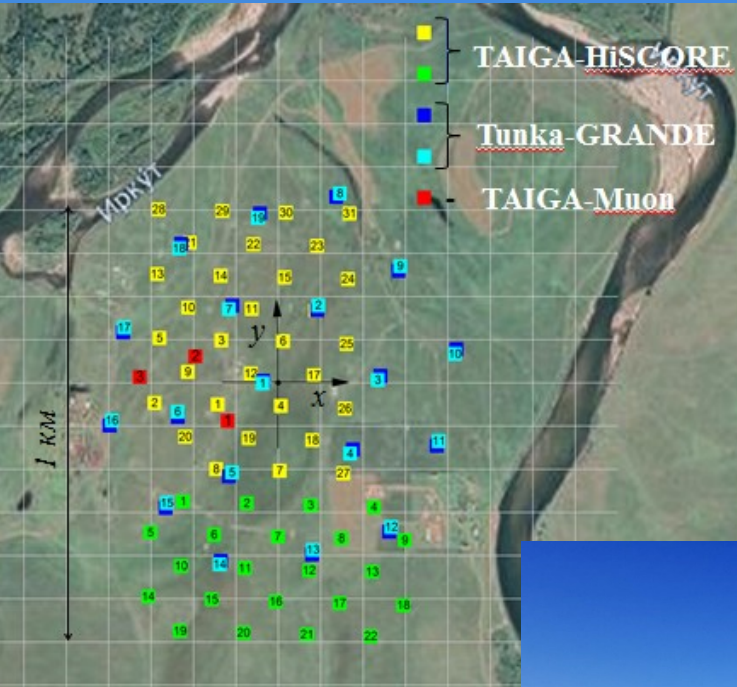


- $\langle N_{pe} \rangle = 30$
- Неоднородность амплитуды п
 $rms/A = 20\%$
- $S_{det} = 0.96 \text{ м2}$
- Вес детектора $\sim 35 \text{ кг}$

28 Сентября 2020





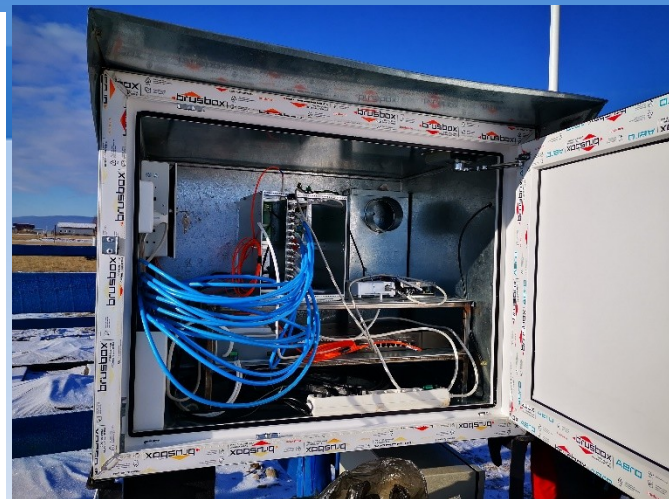
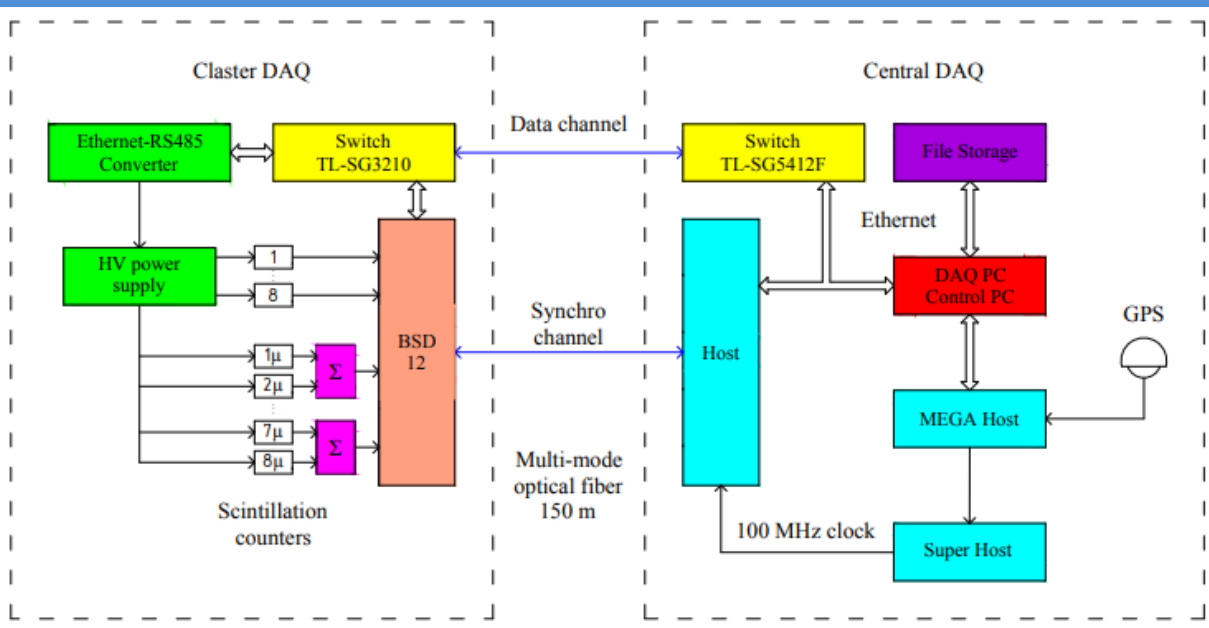


Развертывание первых 3-х станций лето-осень 2019 г.



28 Сентября 2020

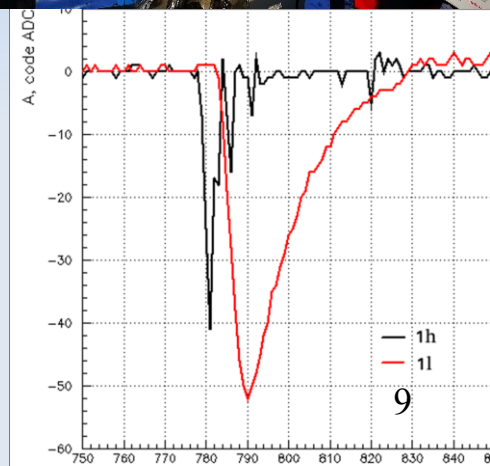
Электроника считывания



- Подключен 1 кластер:
 - Триггер по совпадению 2-х наземных счетчиков
 - 8 наземных счетчиков $\rightarrow$ ФАЦП 12 бит 200 МГц
 - 8 подземных суммируются по 2 + формирователь

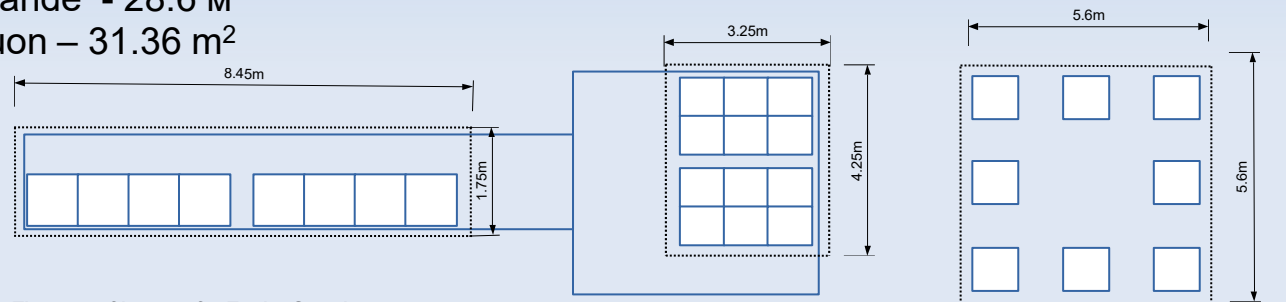
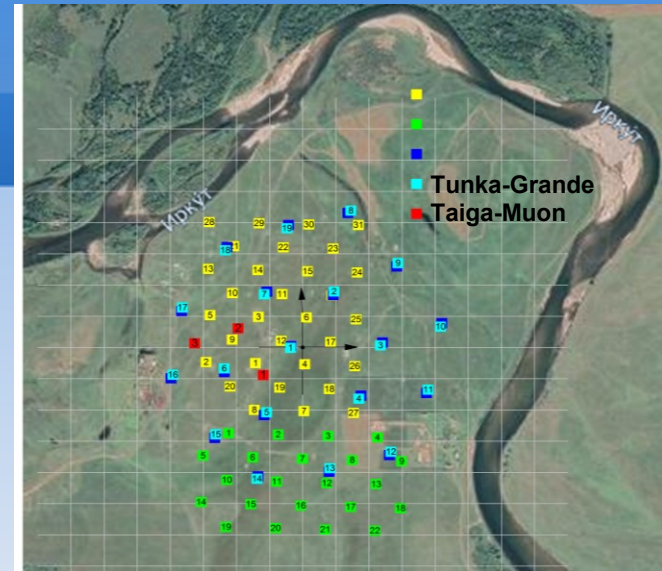
28 Сентября 2020

ВККЛ-2020



Моделирование Tunka-GRANDE+TAIGA-Muon(1)

- Моделирование взаимодействия ПКЛ с атмосферой - Corsika, (QGSJET-II-04, FLUKA)
- Пакет COAST используется для создания списка вторичных частиц на уровне земли
- GEANT4 – описание детекторов и взаимодействие вторичных частиц
- Область интереса для Tunka-Grande - 28.6 m^2
- Область интереса для Taiga-Muon – 31.36 m^2



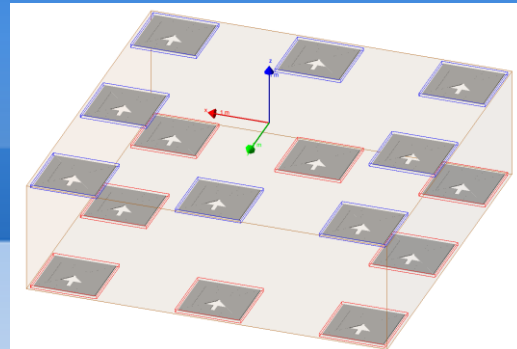
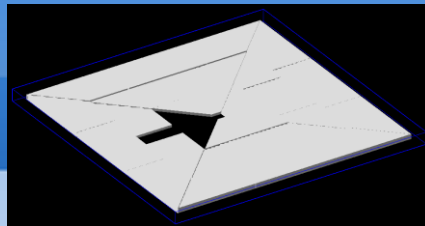
The area of interest for Tunka-Grande

ВККЛ-2020

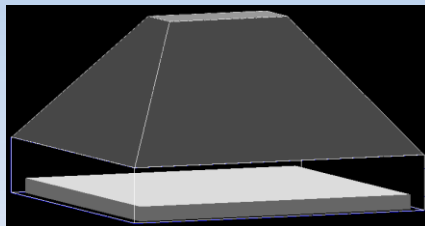
28 Сентября 2020

Моделирование Tunka-GRANDE +TAIGA-Muon(2)

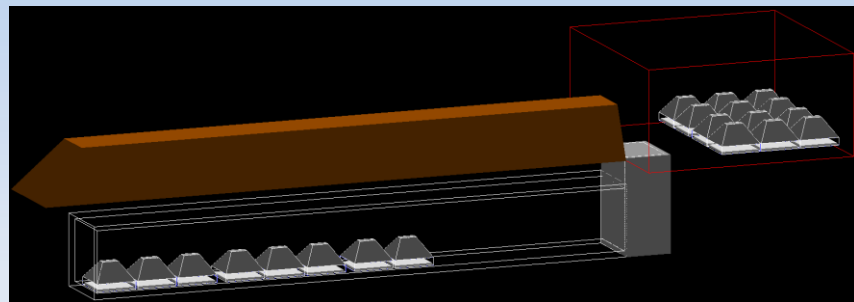
Счетчик Taiga-Muon



Счетчик Tunka-Grande



Станция Taiga-Muon



Площадь регистрации

- Счетчик Tunka-Grande - 0.64 м^2
- Станция Tunka-Grande – 7.68 м^2 (поверхность) + 5.12 м^2 (подземный) → 12.8 м^2
- Счетчик Taiga-Muon - 0.94 м^2
- Станция Taiga-Muon 7.52 м^2 (поверхность) + 7.52 м^2 (подземный) → 15.04 м^2

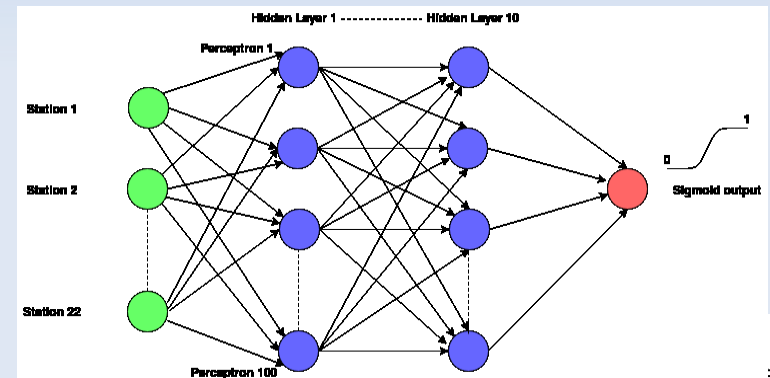
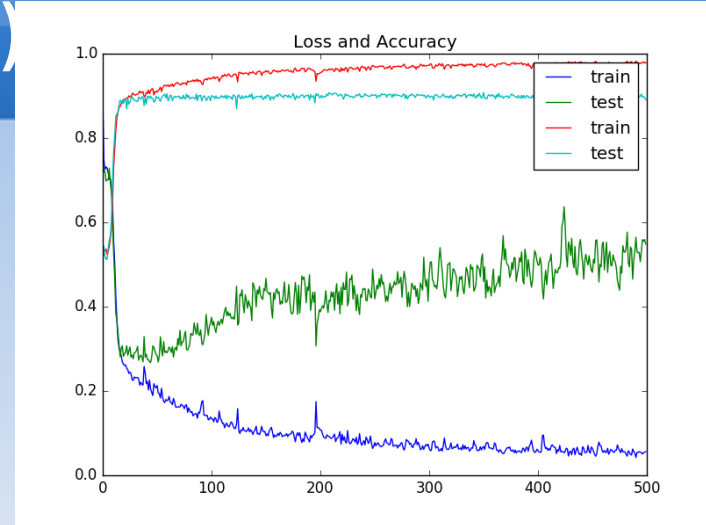
Станция Tunka-Grande

28 Сентября 2020

ВККЛ-2020

Использование нейронной сети для γ/р разделения(1)

- Использовался пакет TensorFlow..
- В качестве входных данных использовались амплитуды сигналов в поверхностных и подземных счетчиках: 44 входные переменные для 22 станций (19 Tunka-GRANDE + 3 TAIGA-Muon_
- 10 скрытых слоя, в каждом 100 перцептронов.
- Число эпох при тренировке сети равно 100.

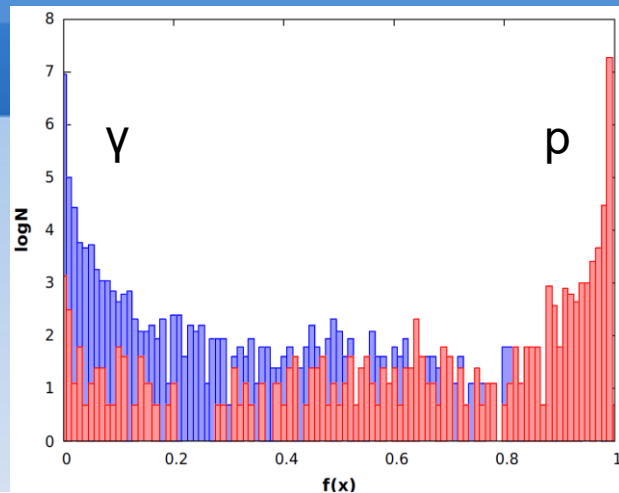


Использование нейронной сети для γ/p разделения(2)

- Для классификации гипотез в качестве функции активации используется сигмоида
- По умолчанию пороговое значение функции активации равно 0.5

По результатам моделирования при энергиях от 1 до 10 ПэВ эффективность идентификации адронов составляет 90% и более, при этом эффективность идентификации гамма-квантов не меньше 50%.

Моделирование подтверждает, что для надежной идентификации площадь регистрации (число станций) надо удвоить. При энергиях ~ 1 ПэВ для регистрации ШАЛ необходимо использовать другие системы (HighScore, Tunka133)



Energy (PeV)	Zenith angle	Gamma (%)	Proton (%)
1.0-1.5	0° - 15°	47.4	88.7
	15° - 30°	44.3	87.2
	30° - 45°	31.7	89.9
2.25-3.5	0° - 15°	66.1	89.9
	15° - 30°	63.9	85.6
	30° - 45°	65.8	83.1
7.0-10.0	0° - 15°	78.8	95.6
	15° - 30°	78.5	92.3
	30° - 45°	80.1	89.0

Планы

- 2020 осень – подключение станций 2 и 3, начало набора данных
- Производство 32-х детекторов для 2-х дополнительных станций летом 21 года.
- Разработка совместно программы реконструкции Tunka-GRANDE+TAIGA-Muon
- Разработка программы моделирования HighScore+Tunka-GRANDE+TAIGA-Muon

Запасные слайды

Эффективность регистрации событий

Zenith angle	Energy	Station selection	Gamma	Proton
0°	1.0 PeV	At-least 1	98.98	97.94
		At-least 2	74.72	72.37
		At-least 3	38.37	38.30
0°	3.0 PeV	At-least 1	100	100
		At-least 2	99.37	98.86
		At-least 3	93.11	91.47
0° - 15°	1.0-1.5 PeV	At-least 1	99.47	98.92
		At-least 2	81.39	80.10
		At-least 3	47.68	48.79
0° - 15°	2.25-3.5 PeV	At-least 1	100	99.99
		At-least 2	98.91	98.22
		At-least 3	90.50	88.91