

Акустические методы регистрации нейтрино

Дипломная работа Афанасьева Андрея Анатольевича

Научный руководитель:

к.ф.-м.н., доцент Широков Евгений Вадимович



Цель работы

Явление возникновения
акустического излучения
при прохождении
заряженных частиц
в веществе



Детектирование по
акустическим сигналам
каскадов частиц,
инициированных
космическими нейтрино
в воде

- изучение акустических методов регистрации нейтрино
- экспериментальное исследование акустического поля
- оптимизация конфигурации нейтринного телескопа

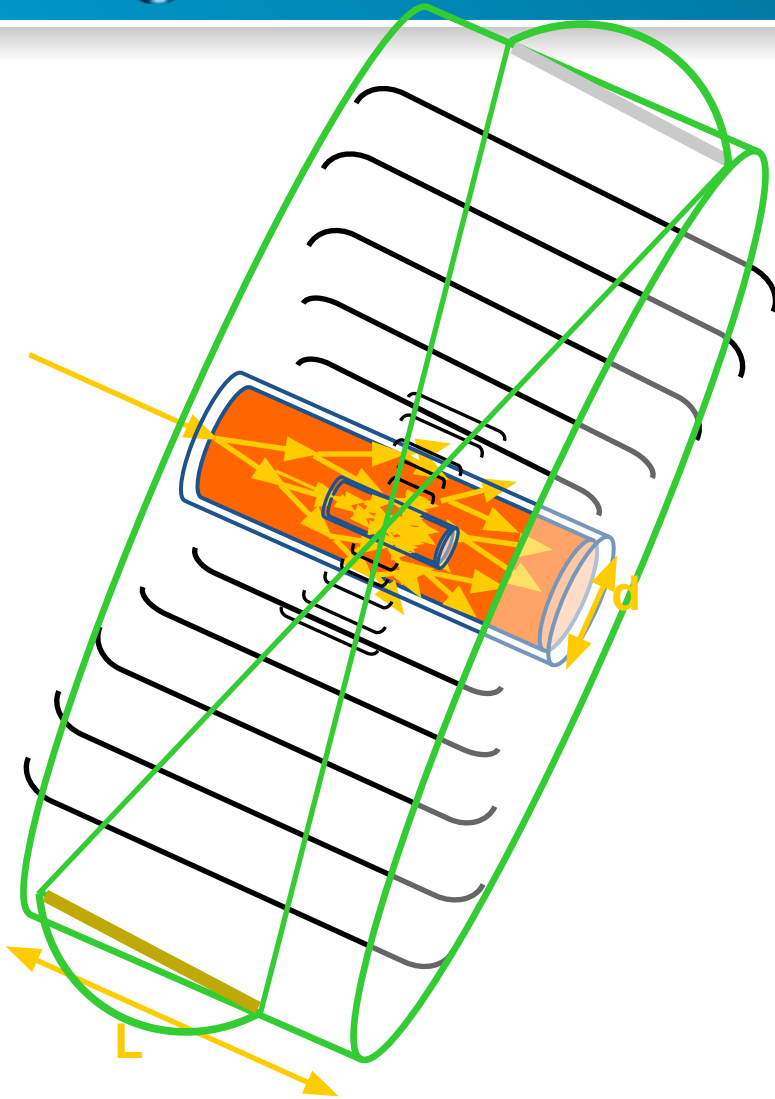


Актуальность работы

- Потоки нейтрино высоких энергий очень малы. **Необходимы большие объемы детекторов.**
- Возможности черенковского метода детектирования ограничены энергией **$E < 10^{15}$ эВ:**
 - длина затухания света ~ 70 м
 - объем детектора $\sim 1 \text{ км}^3$
- Акустический метод эффективен для нейтрино с энергией **$E > 10^{15}$ эВ:**
 - длина затухания звука в воде ~ 1 км на 10 кГц
 - возможность достижения объема $\gg 1 \text{ км}^3$



Механизм генерации звука



1. Ионизация и возбуждение атомов среды

2. Мгновенное выделение теплоты в ограниченной области пространства

3. Импульсное тепловое расширение

4. Акустическая волна

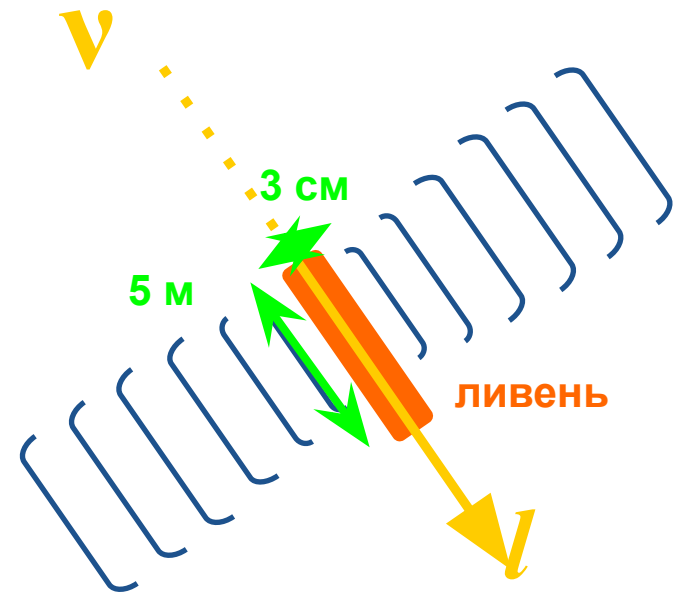


Взаимодействие нейтрино в воде

В результате взаимодействия нейтрино с нуклонами ядер образуются **электромагнитно-адронные ливни**. Для нейтрино с энергией 10^{18} эВ 90% энергии ливня заключено в цилиндре длиной 5 м и диаметром 3 см.

В соответствии с терморadiационной моделью, в результате поглощения энергии ливня возникает акустический сигнал, который распространяется в цилиндрической области перпендикулярно оси каскада.

Сигнал имеет биполярную форму. Для ливня с энергией 10^{18} эВ амплитуда давления на расстоянии 1 км составляет несколько мПа, максимум спектра сигнала приходится на 10-20 кГц.

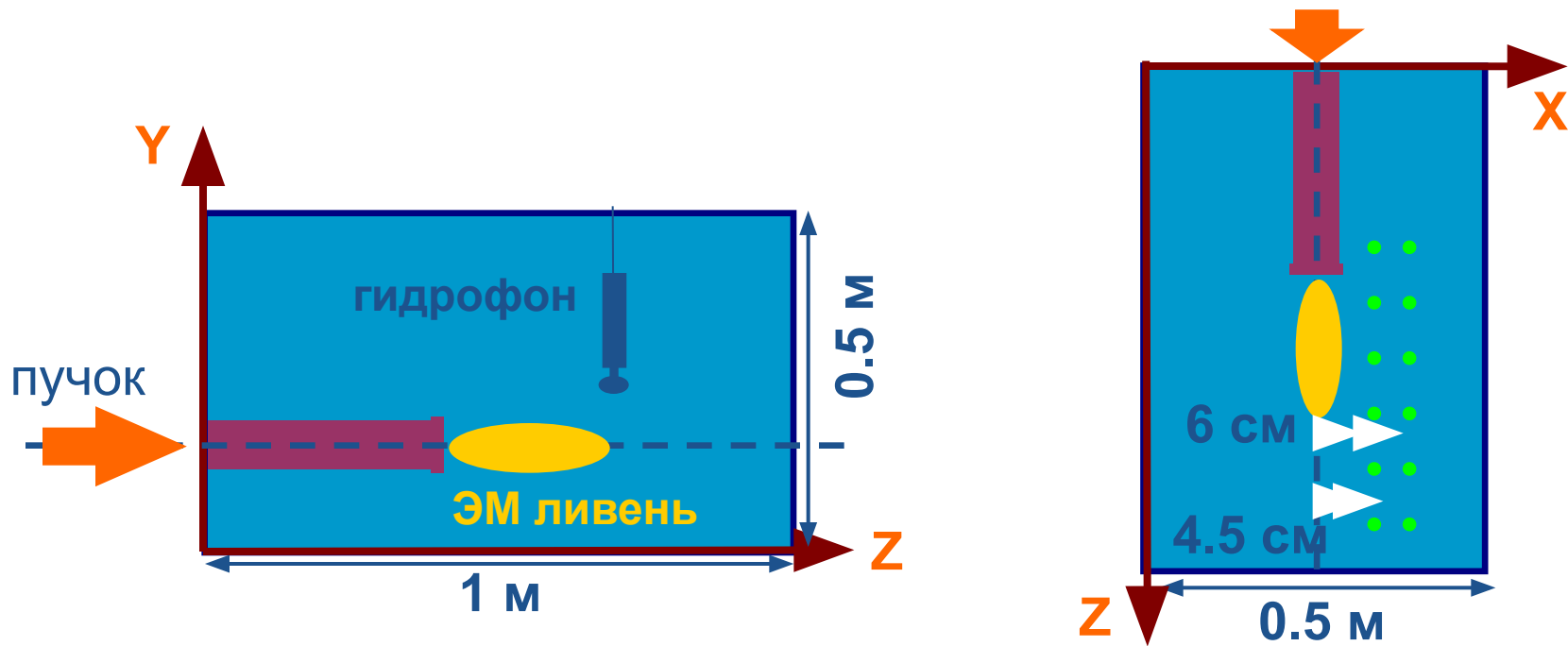


Эксперимент НИИЯФ МГУ





Эксперимент в НИИЯФ МГУ



Гидрофон перемещался вдоль линейных трасс с шагом 4.5 мм.

Измерены две трассы на расстояниях $X = 6$ см и $X = 4.5$ см от оси пучка, каждая трасса содержала 70 точек.

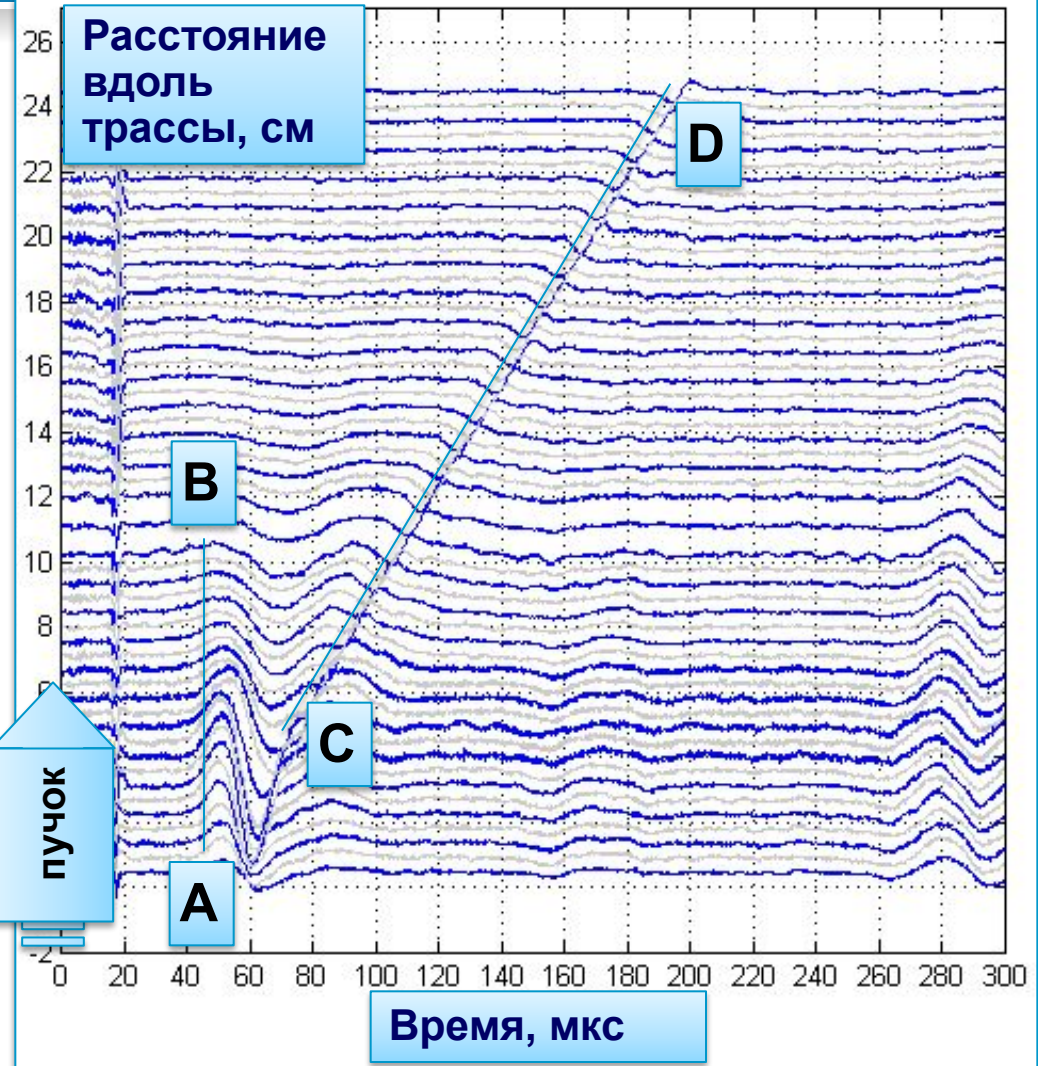
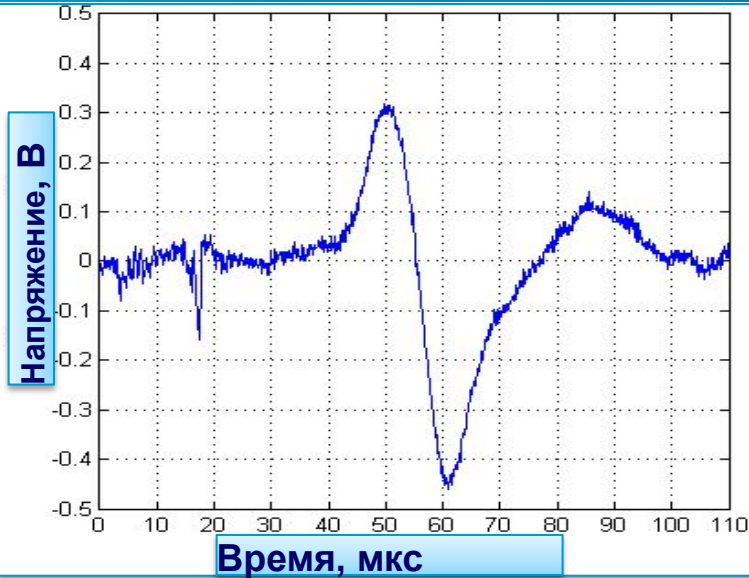


Параметры пучка в эксперименте

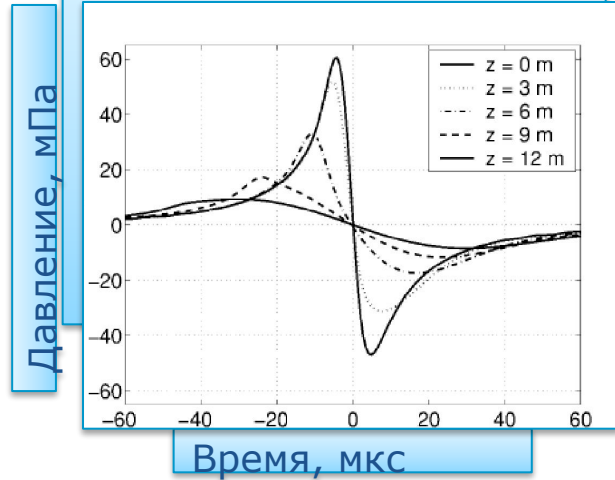
Энергия электронов	50 и 70 МэВ
Длительность импульса	7-9 мкс
Частота повторения импульсов	10 Гц
Пространственная форма поперечного сечения пучка	
Средний ток пучка	1-2.5 мА
Суммарное энерговыделение в импульсе	$\sim 10^{18}$ эВ



Результаты эксперимента: акустическое поле



CD:



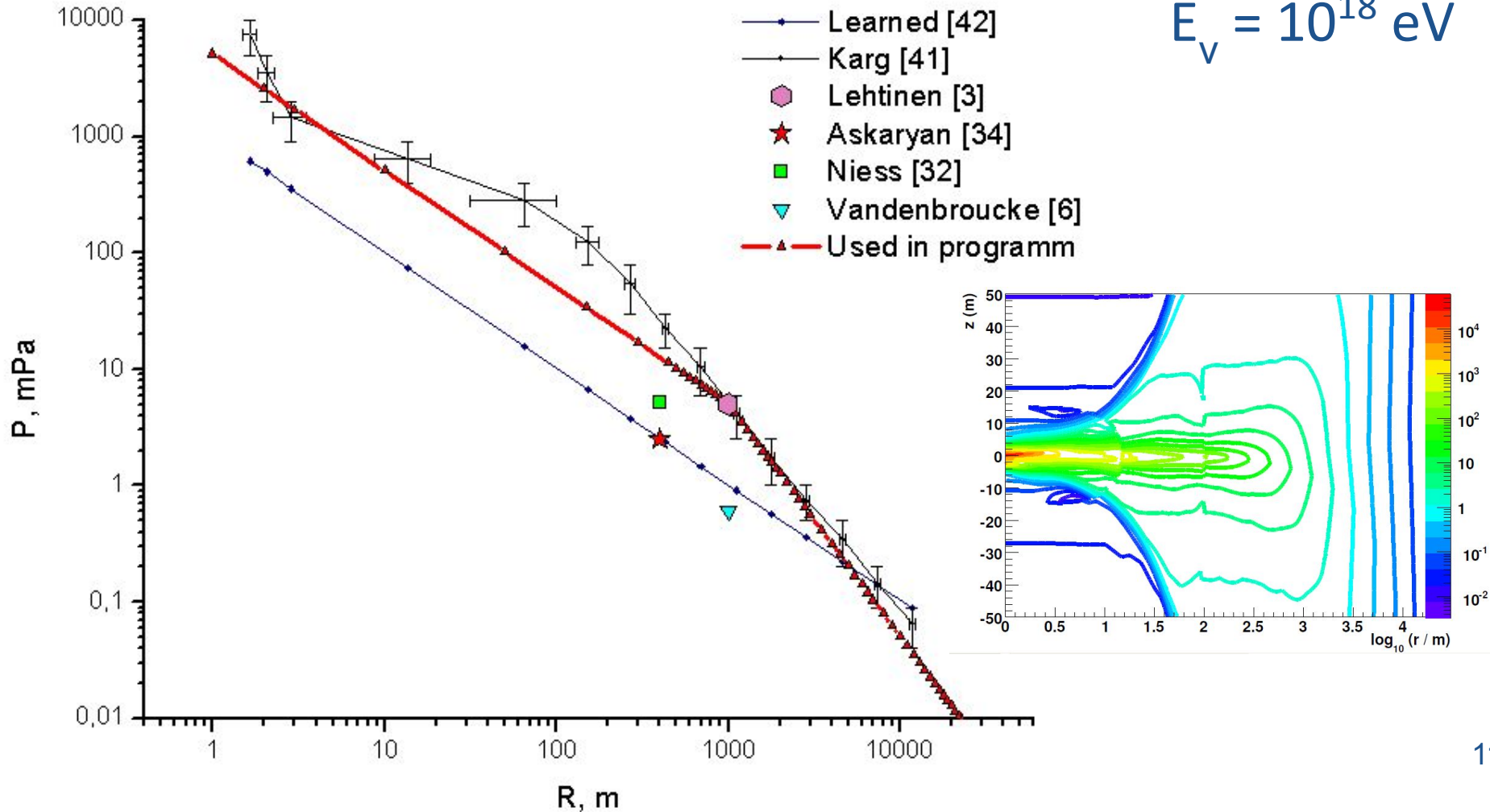
Моделирование INFN, Genova





Акустическое поле, создаваемое нейтрино

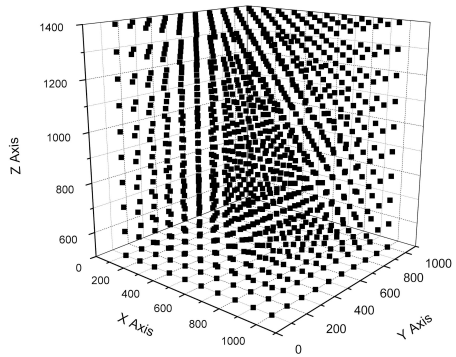
$$E_\nu = 10^{18} \text{ eV}$$



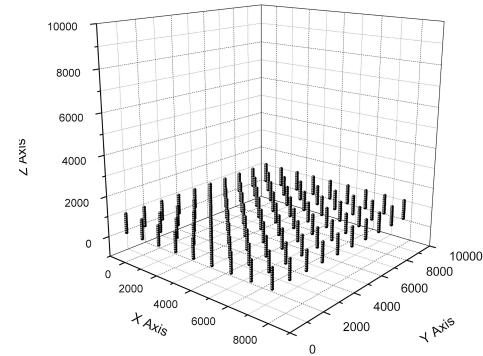


Примеры конфигурации детектора

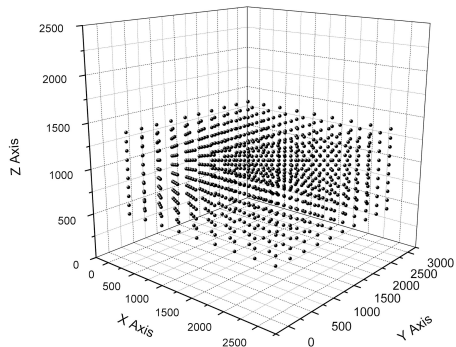
100x100x100 m³



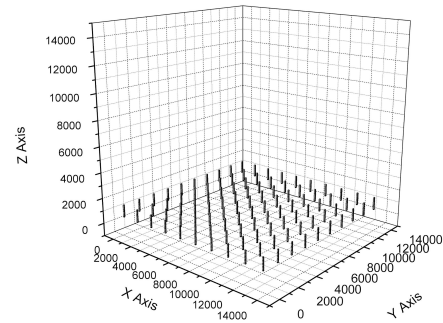
1000x1000x100 m³



500x500x100 m³



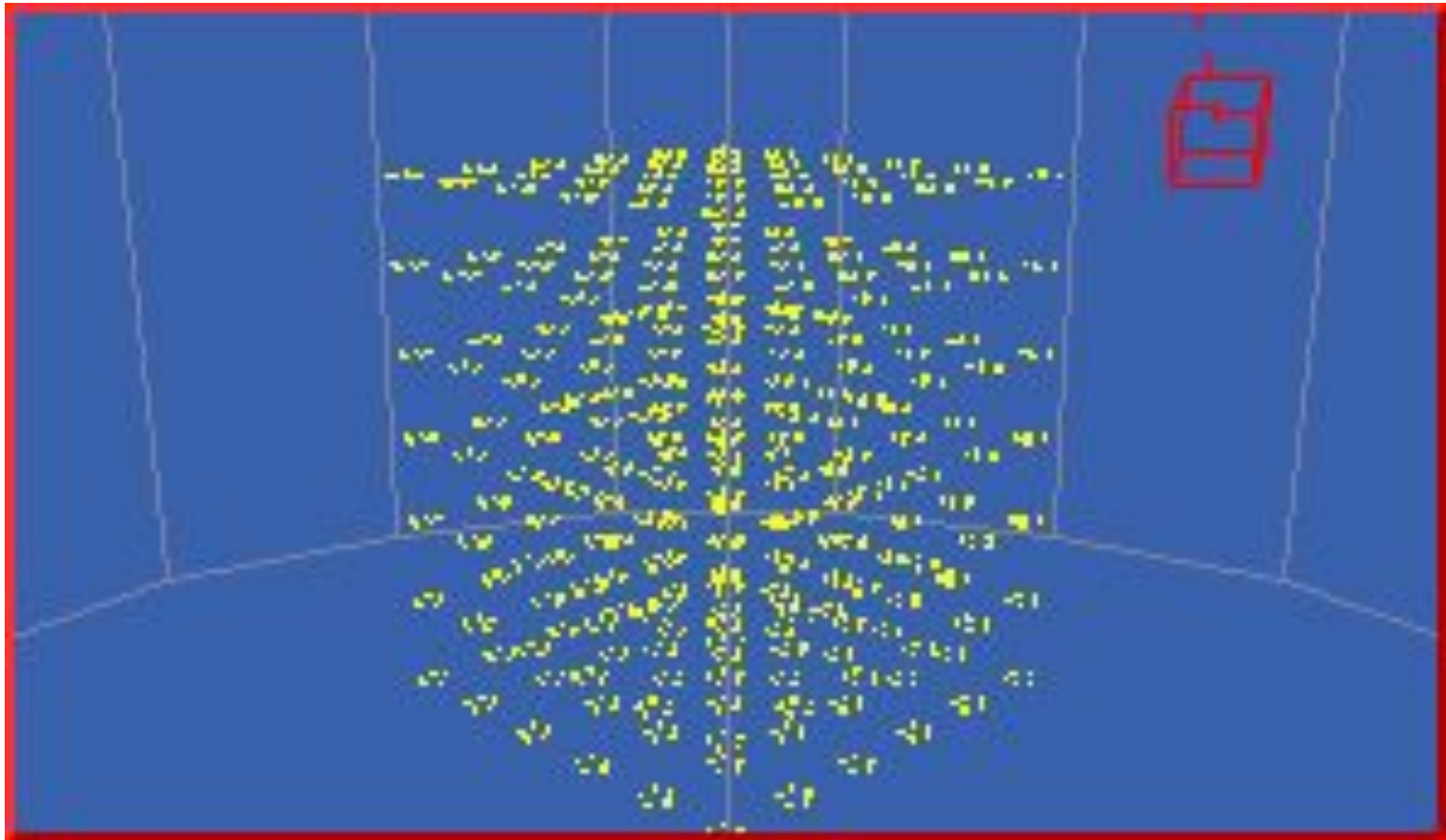
1500x1500x100 m³



1000
Гидрофонов



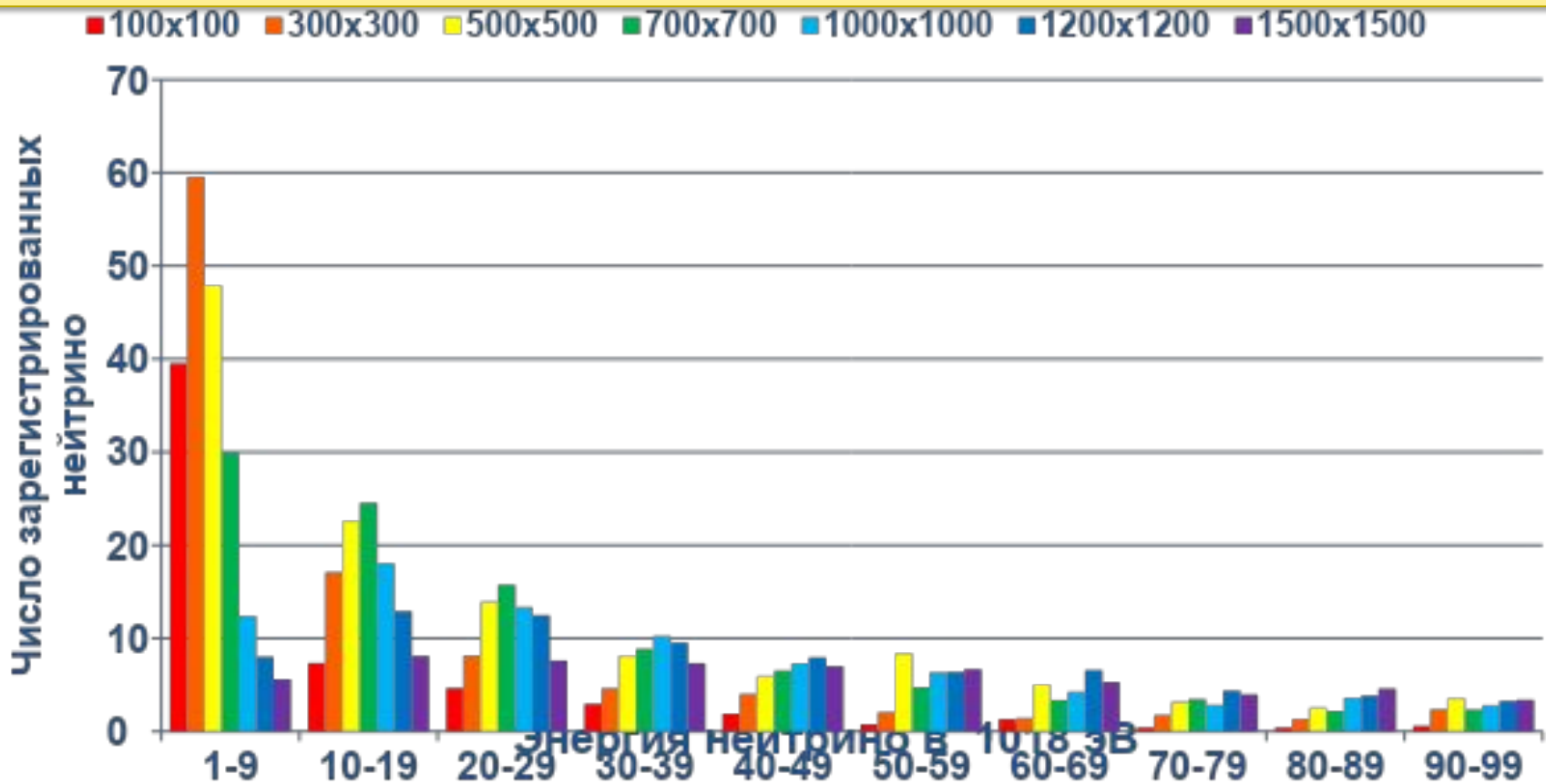
Типичное событие





Результаты моделирования

Статистика событий, зарегистрированных при помощи указанной конфигурации детектора за 1 год

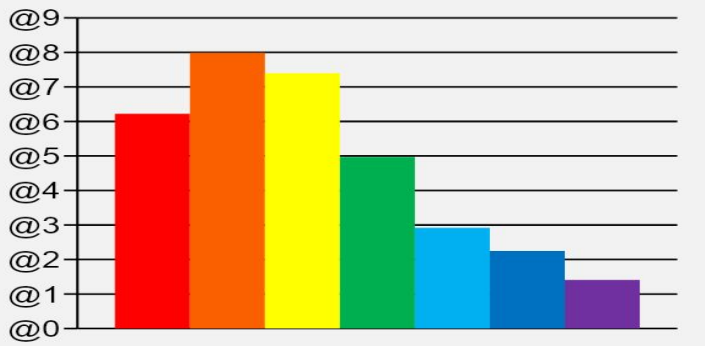




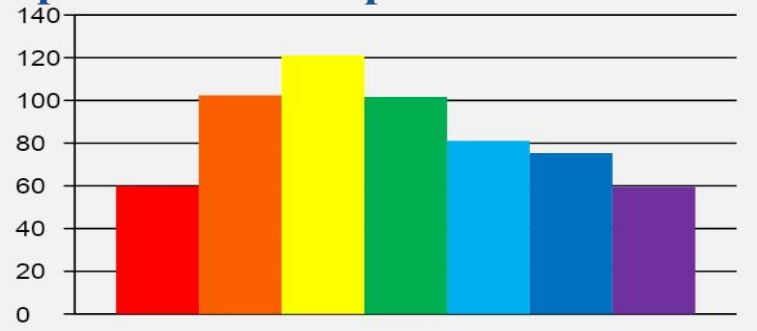
Результаты моделирования

Диапазон энергий от 10^{18} до 10^{20} эВ

Эффективность регистрации, %

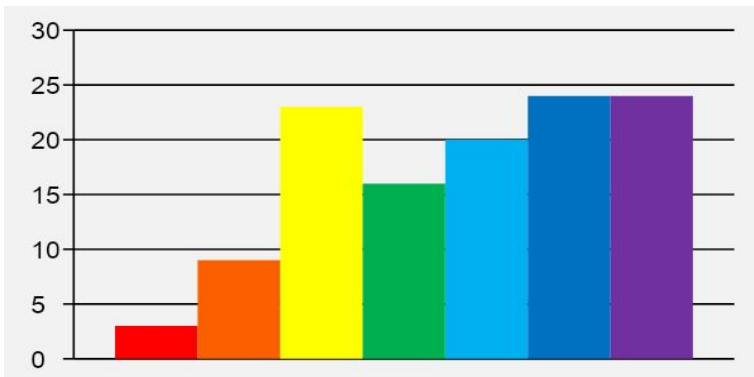


Полное число зарегистрированных нейтрино



Диапазон энергий от $5 \cdot 10^{19}$ до 10^{20} эВ

Эффективность регистрации, %



Полное число зарегистрированных нейтрино





Результаты работы

- Изучены основные принципы акустической регистрации нейтрино
- В эксперименте впервые получена **детальная пространственно-временная зависимость акустического поля**
- На языке C++ написана **программа для моделирования эффективности регистрации нейтрино акустическим методом**. Проведена **оптимизация конфигурации акустических модулей нейтринного телескопа**.



Проблемы и перспективы

- Точность
- Варьирование условий срабатывания гидрофона и детектирования событий
- Учёт зависимости скорости звука от глубины и солёности – решение численными методами



Спасибо!

