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

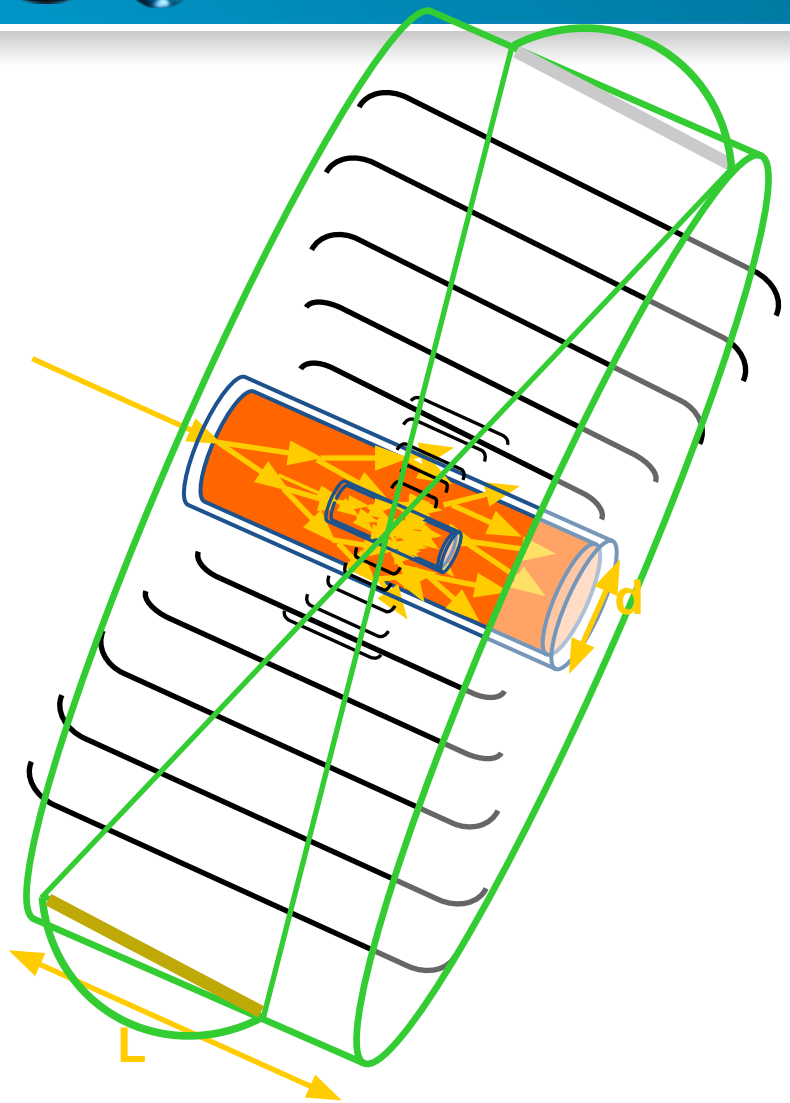
Детектирование по акустическим сигналам каскадов частиц, инициированных космическими нейтрино в воде

- 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 ~ 1 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 >> 1 км^3

Механизм генерации звука



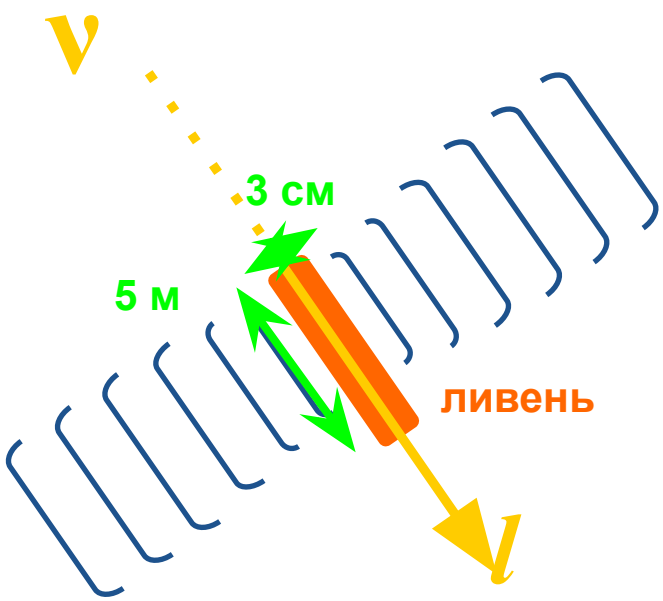
1. Ионизация и возбуждение атомов среды
2. Мгновенное выделение теплоты в ограниченной области пространства
3. Импульсное тепловое расширение
4. Акустическая волна

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.

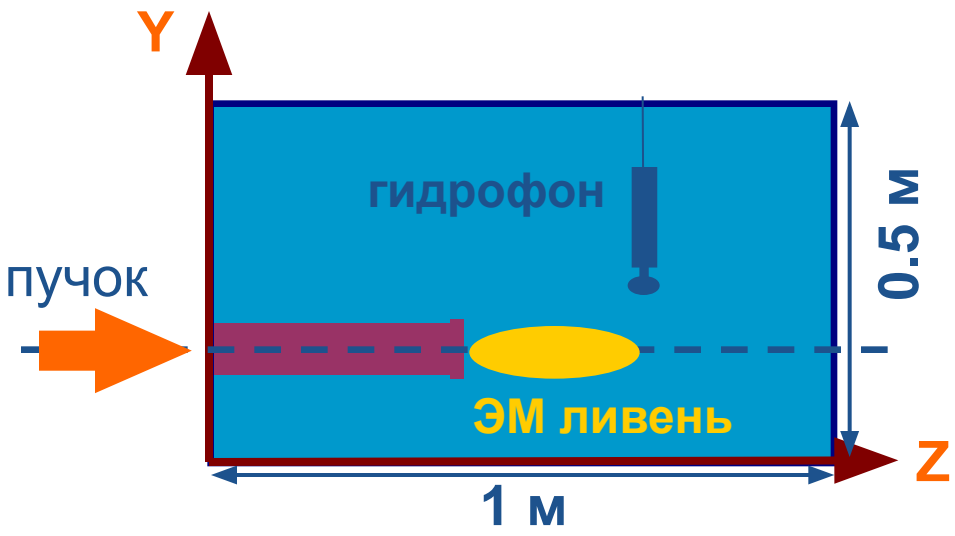
В соответствии с терморадиационной моделью, в результате поглощения энергии ливня возникает акустический сигнал, который распространяется в цилиндрической области перпендикулярно оси каскада.

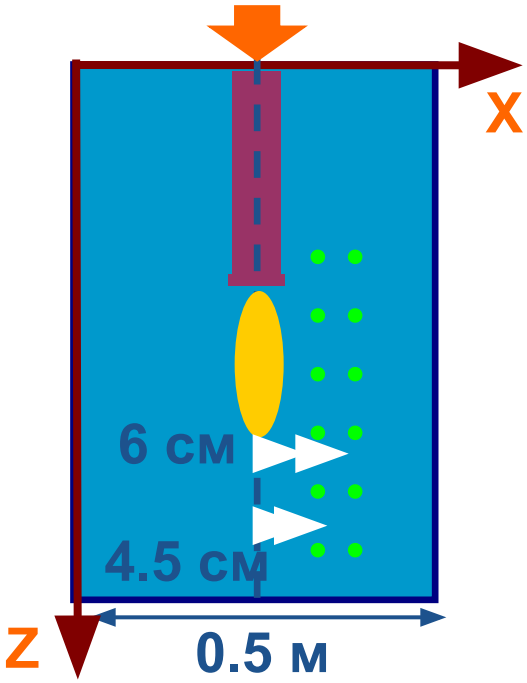
Сигнал имеет биполярную форму. Для ливня с энергией10^{18} эВ амплитуда давления на расстоянии 1 км составляет несколько мПа, максимум спектра сигнала приходится на 10-20 кГц.



Эксперимент
НИИЯФ МГУ

Эксперимент в НИИЯФ МГУ

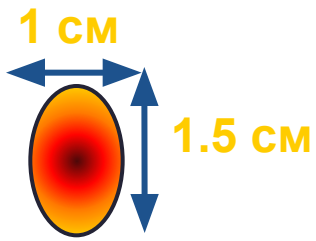




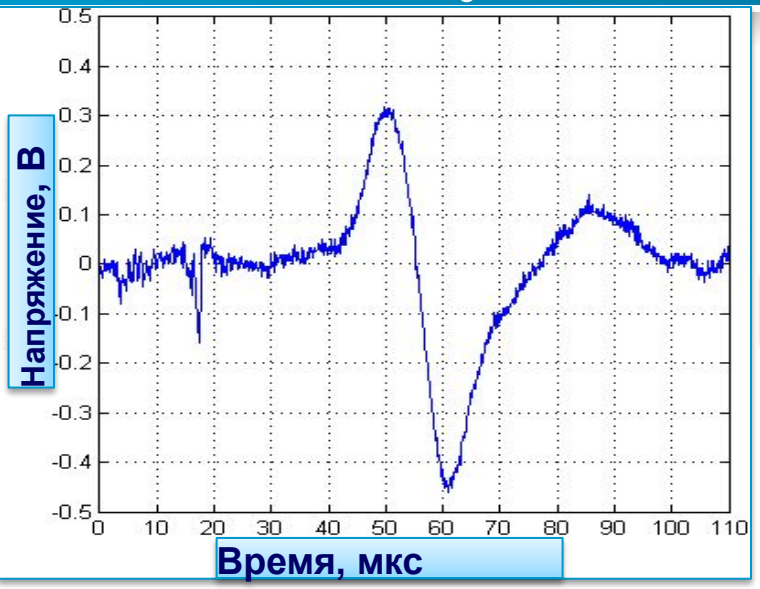
Гидрофон перемещался вдоль линейных трасс с шагом 4.5 мм.

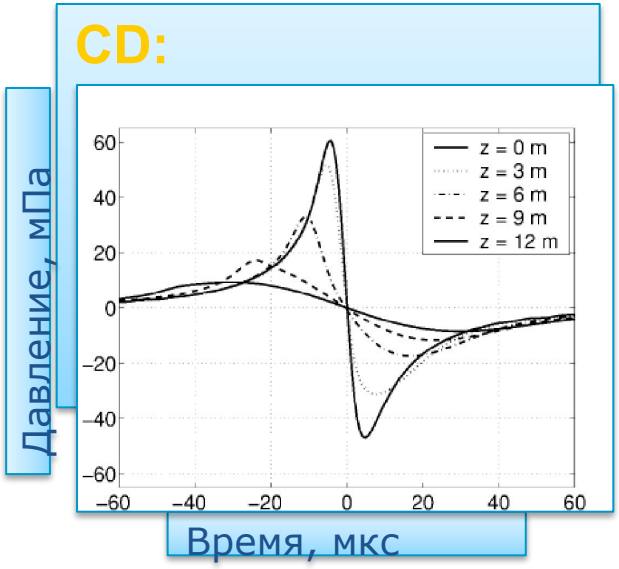
Измерены две трассы на расстояниях X = 6 см и X = 4.5 см от оси пучка, каждая трасса содержала 70 точек.

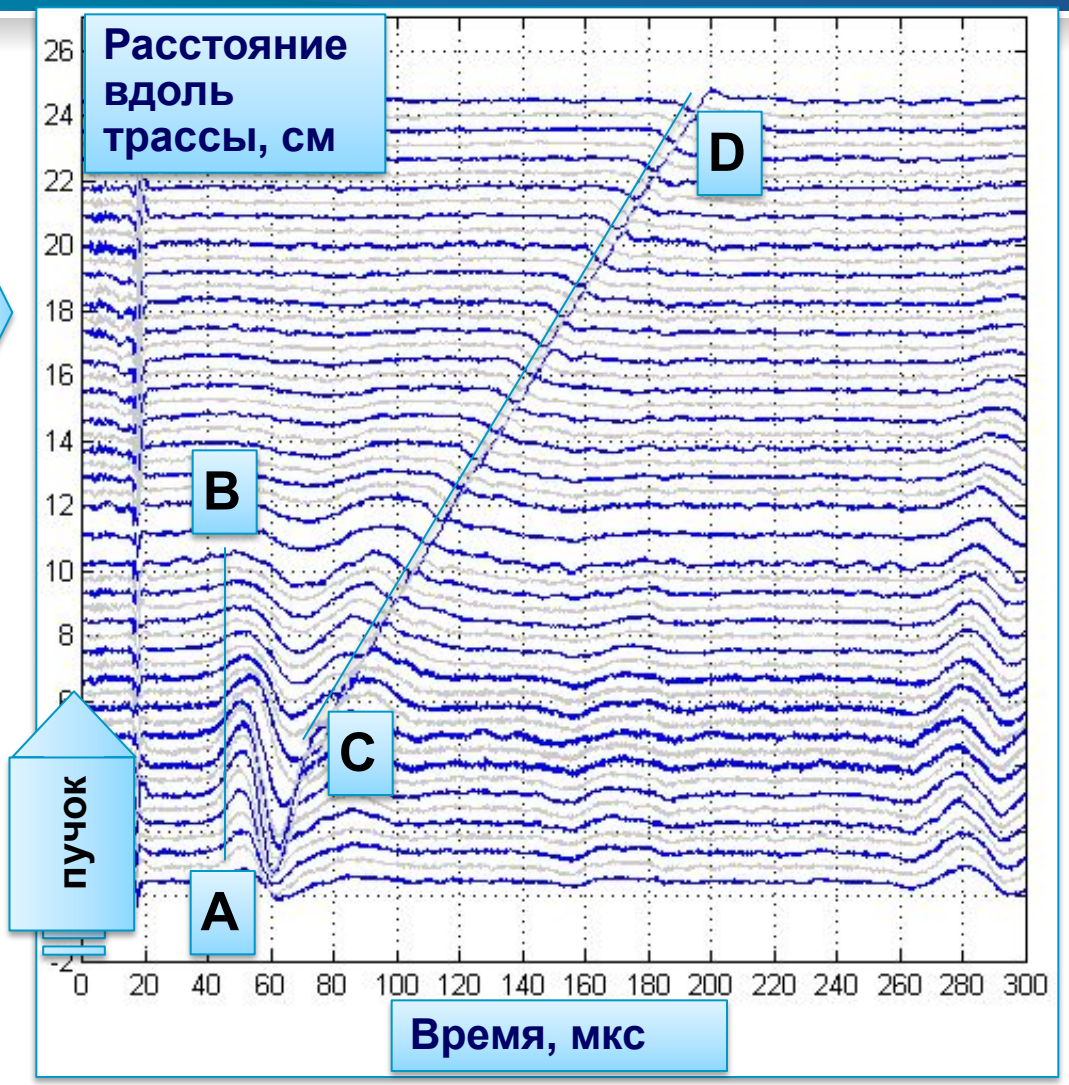
Параметры пучка в эксперименте

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	~ 10^{18} эВ

Результаты эксперимента: акустическое поле





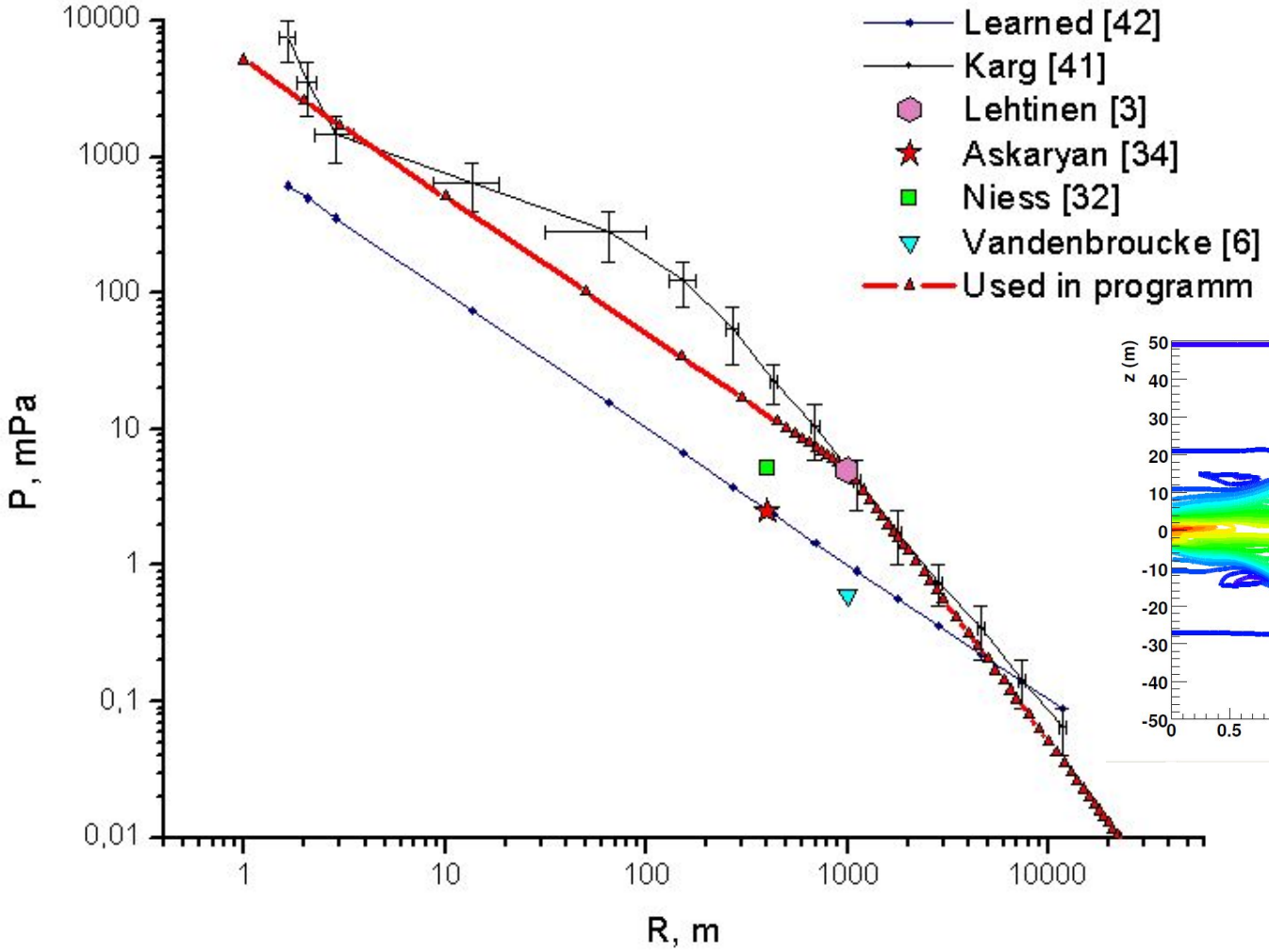


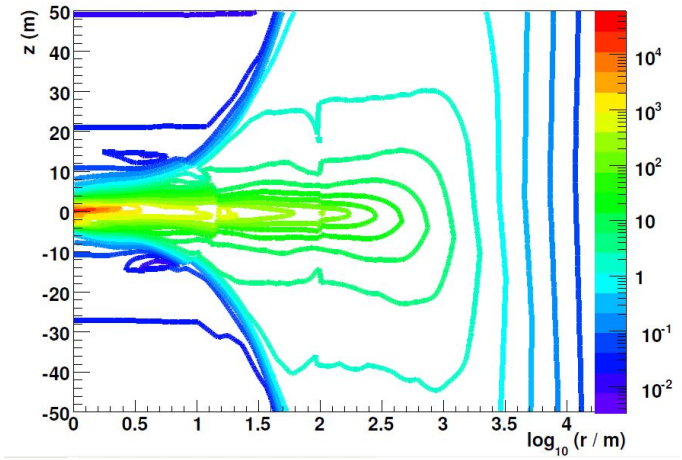
Моделирование

INFN, Genova

Акустическое поле, создаваемое нейтрино

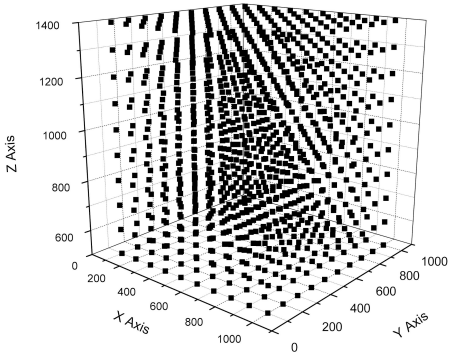
$E_\nu = 10^{18}$ eV



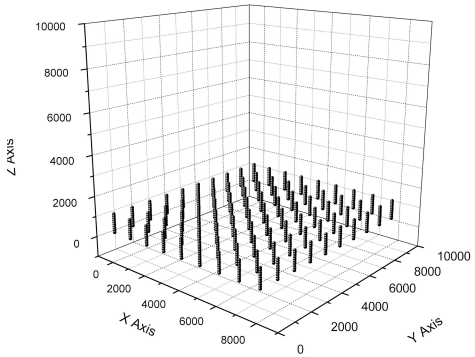


Примеры конфигурации детектора

100x100x100 m^3

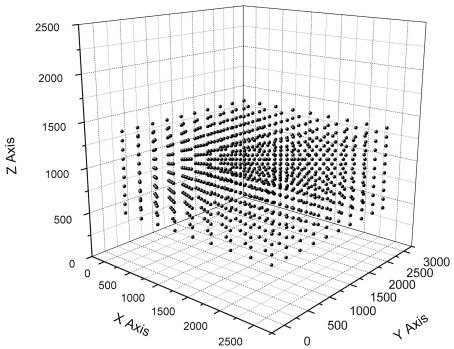


1000x1000x100 m^3

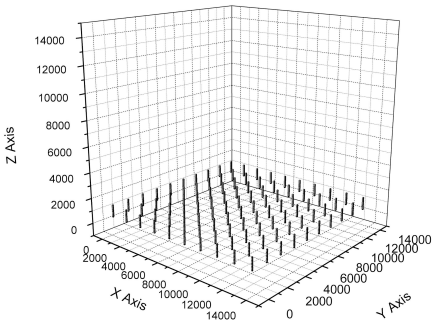


1000 Гидрофонов

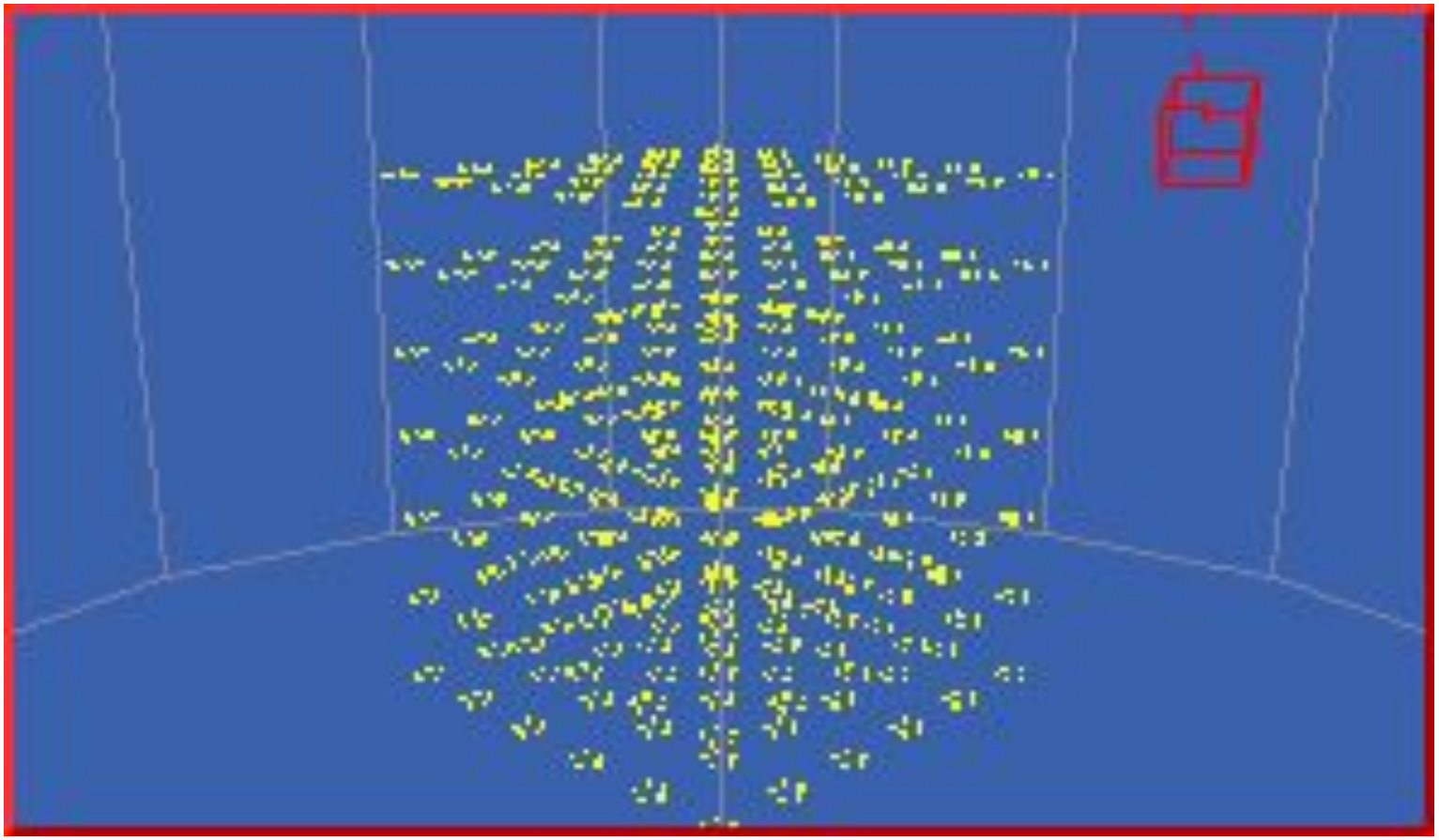
500x500x100 m^3



1500x1500x100 m^3

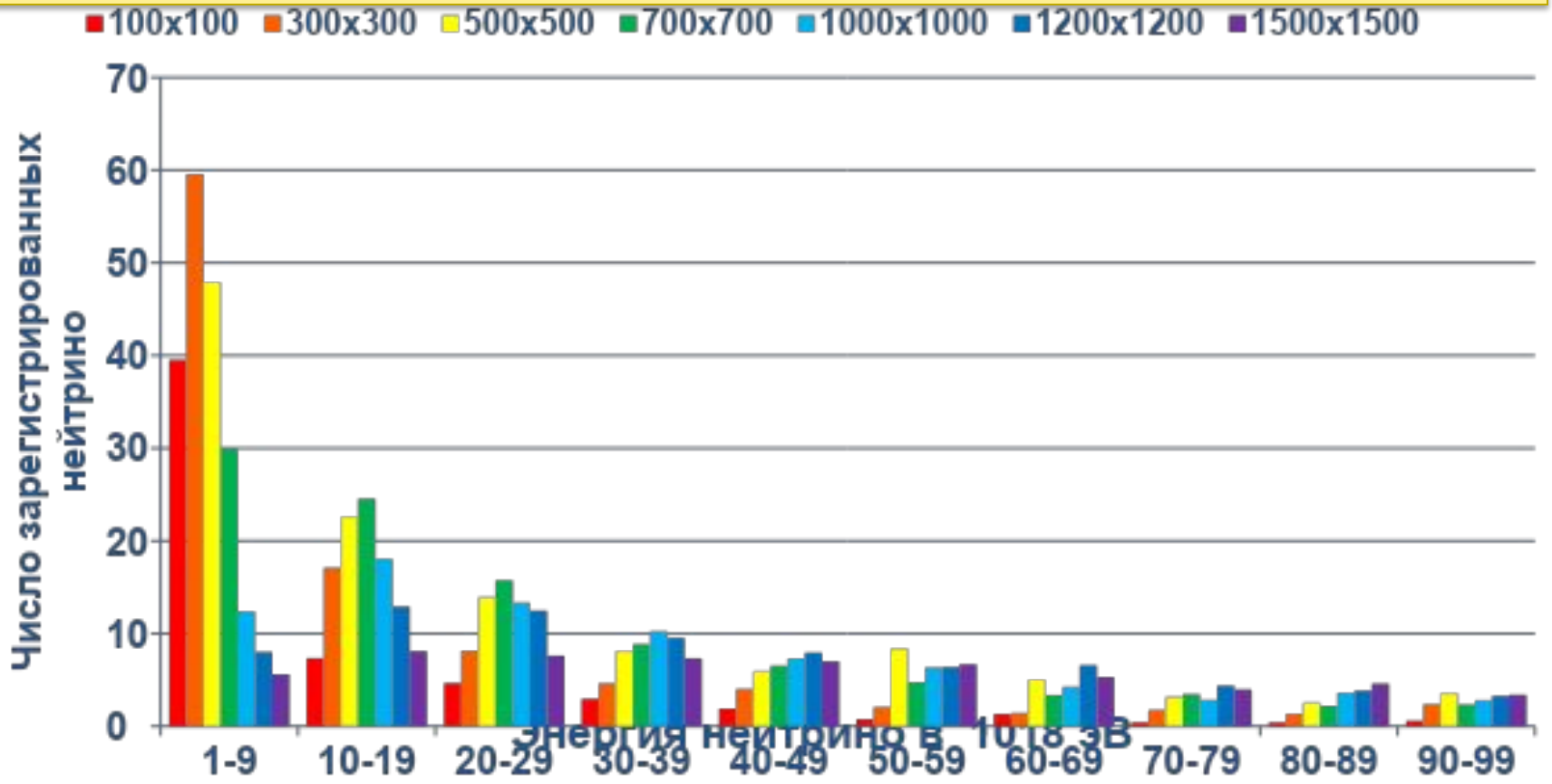


Типичное событие



Результаты моделирования

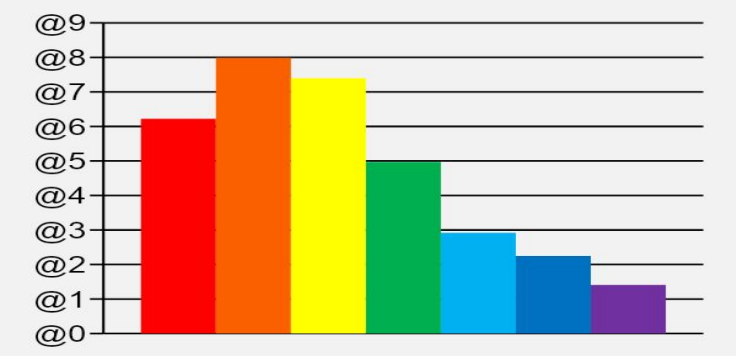
Статистика событий, зарегистрированных при помощи указанной конфигурации детектора за 1 год



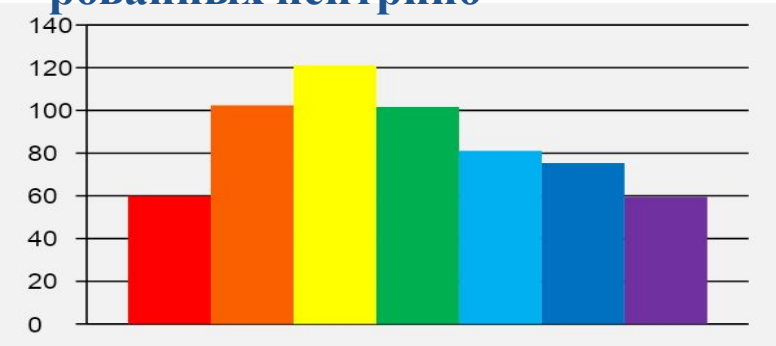
Результаты моделирования

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

Эффективность регистрации, %

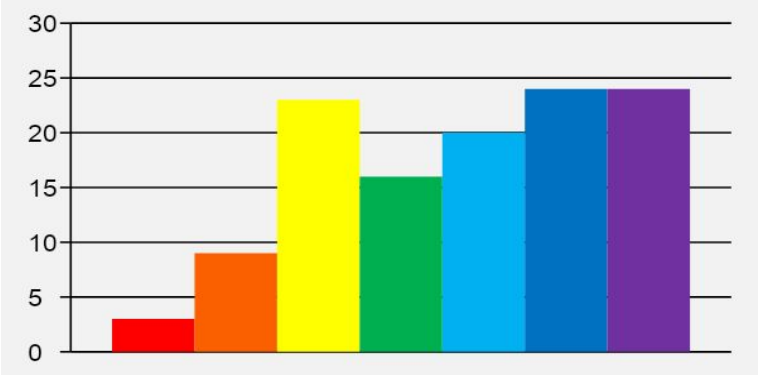


Полное число зарегистрированных нейтрино



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 С++ 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!