

# 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

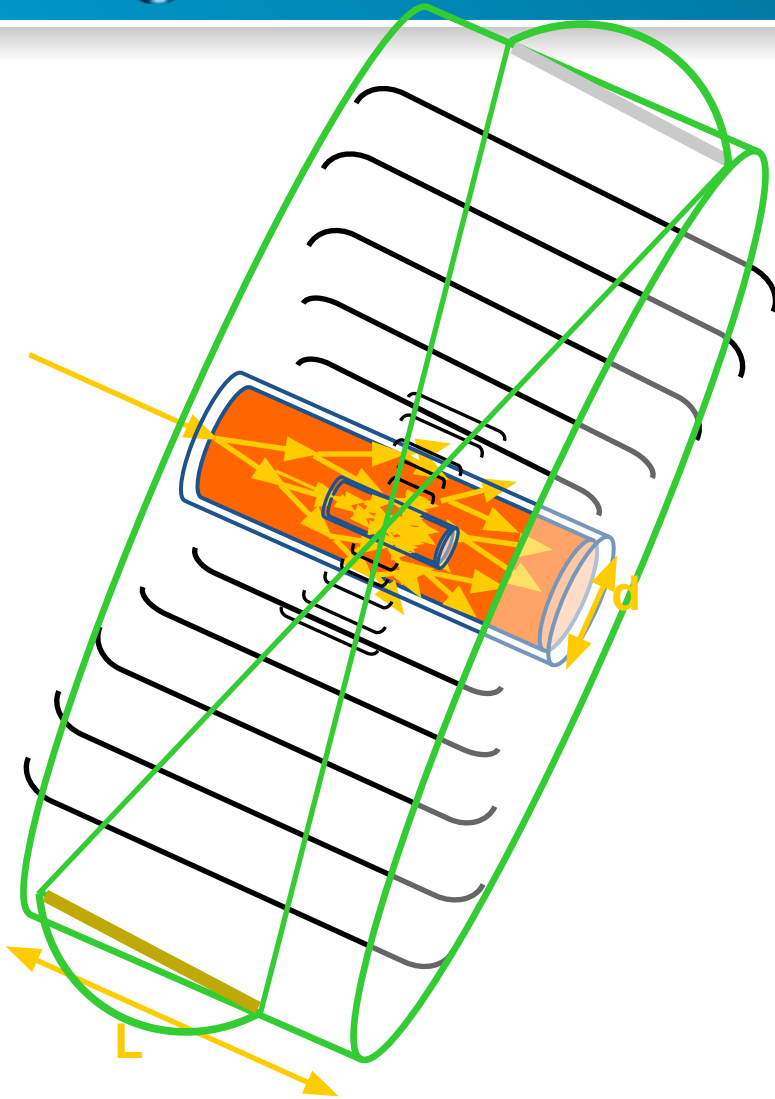


# Актуальность работы

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

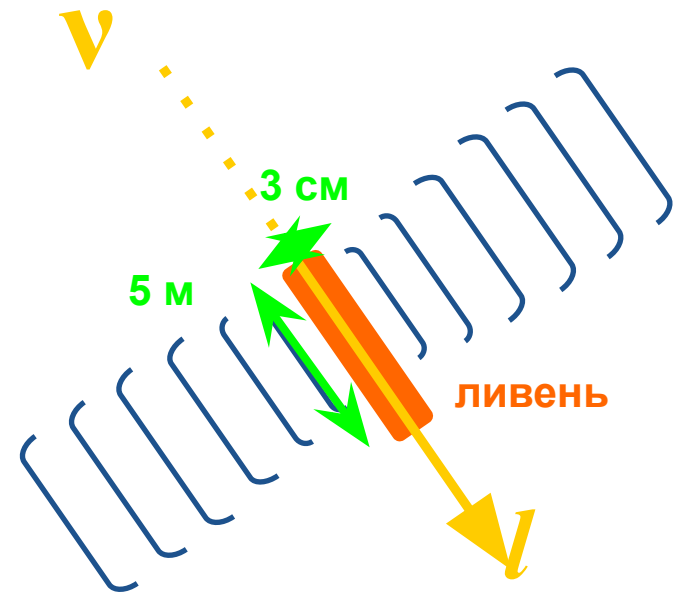


# Взаимодействие нейтрино в воде

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.

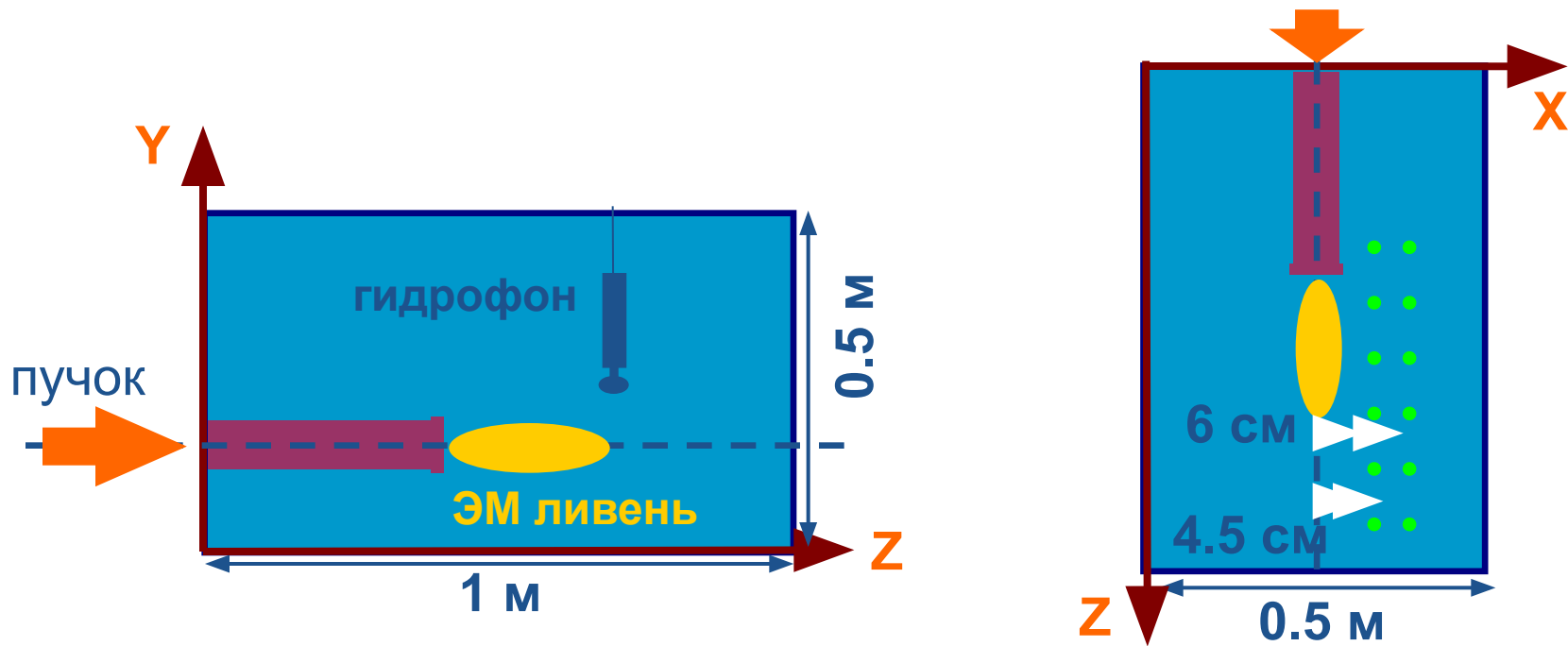


# Эксперимент НИИЯФ МГУ





# 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.



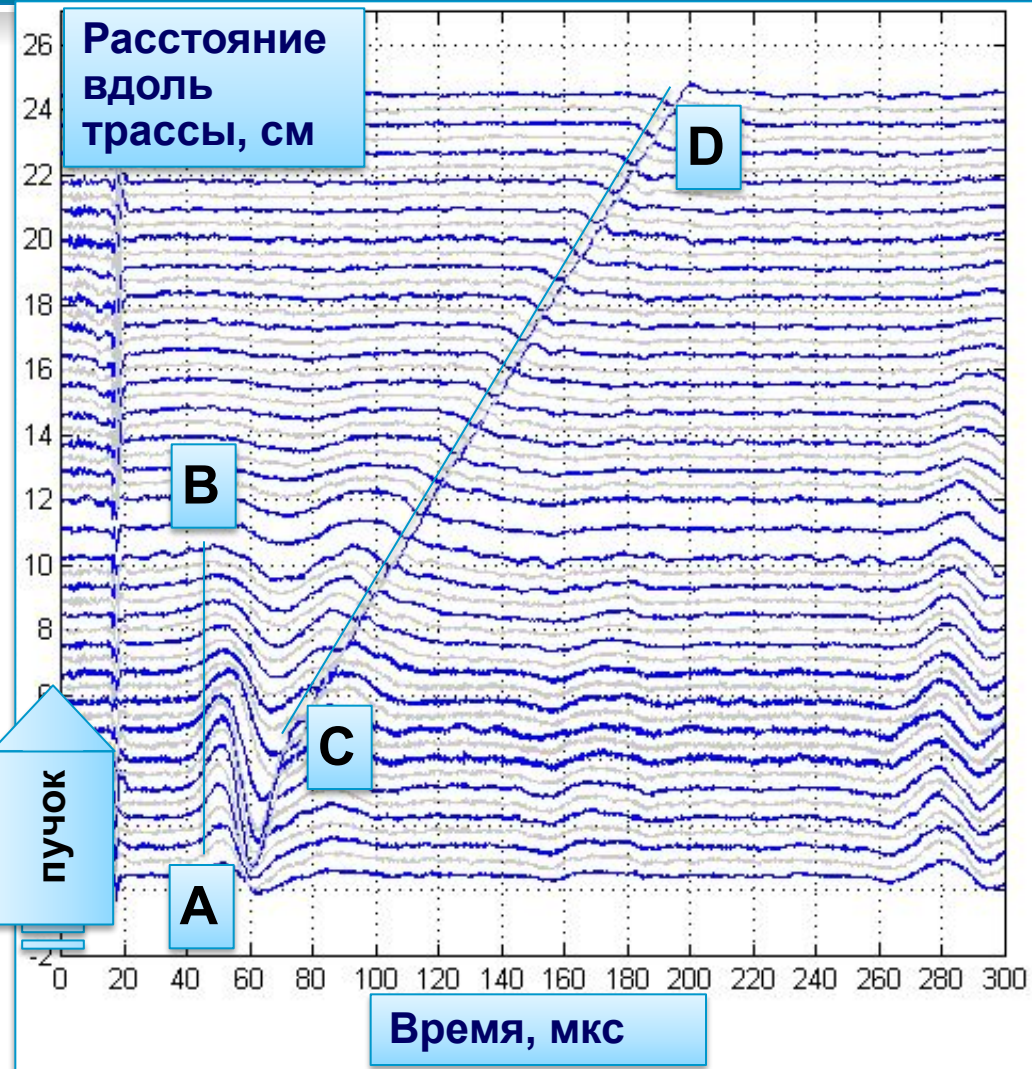
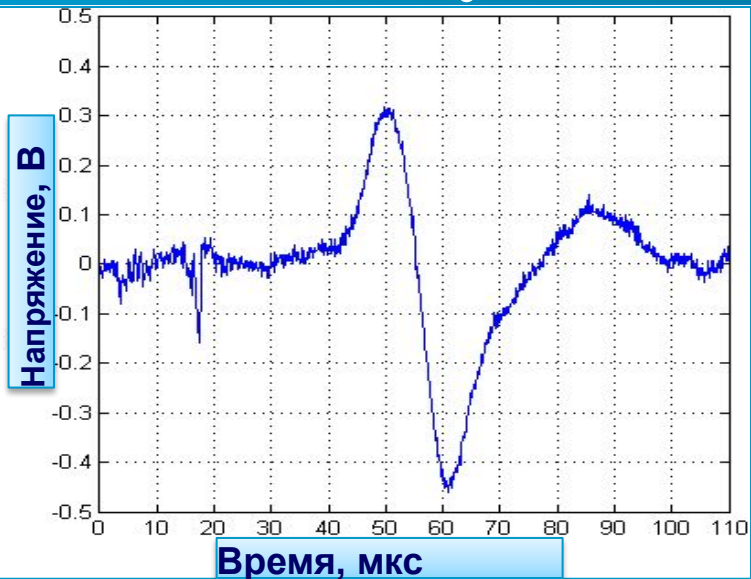
# Параметры пучка в эксперименте

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

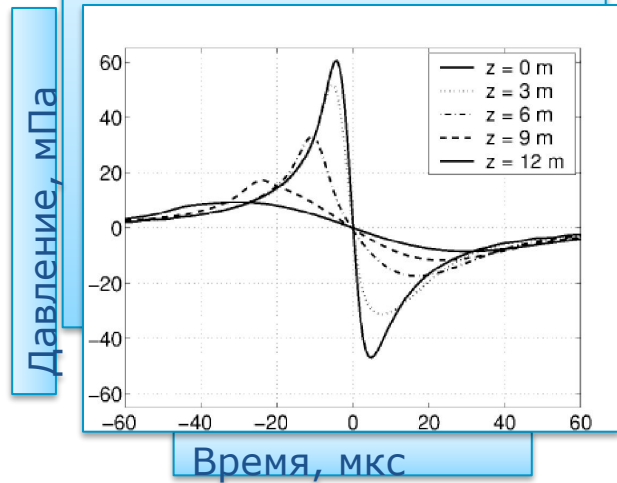




# Результаты эксперимента: акустическое поле



CD:



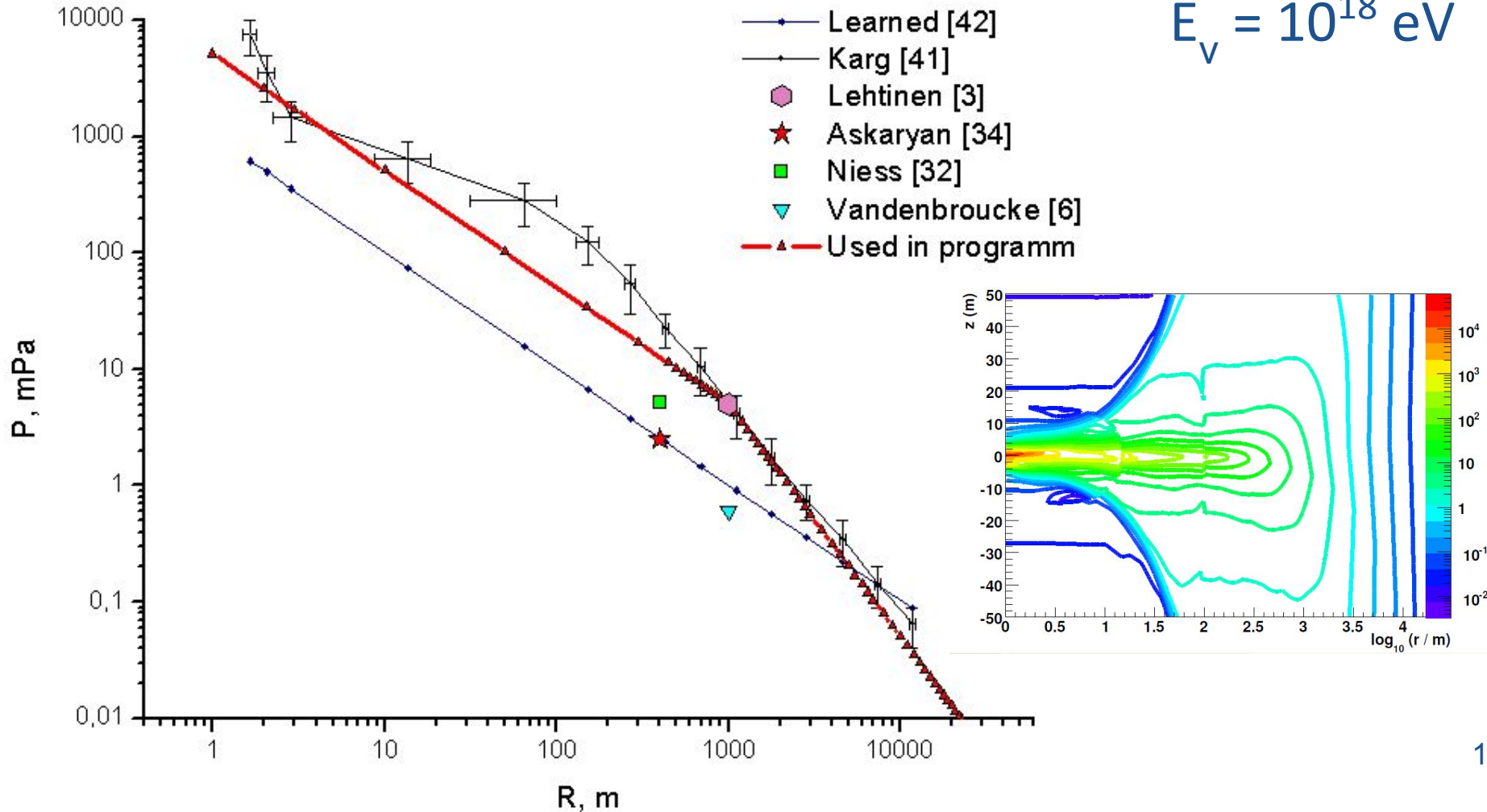
# Моделирование INFN, Genova





# Акустическое поле, создаваемое нейтрино

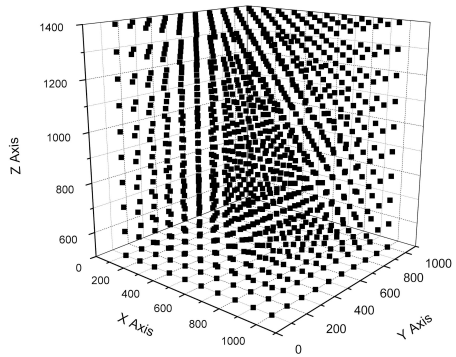
$E_\nu = 10^{18}$  eV



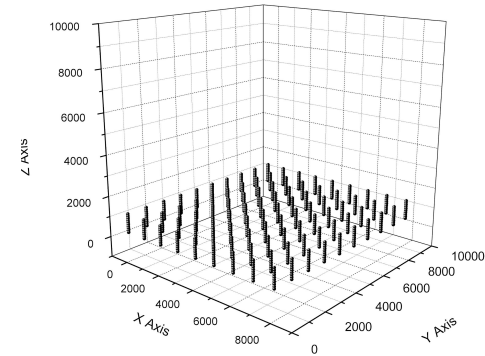


# Примеры конфигурации детектора

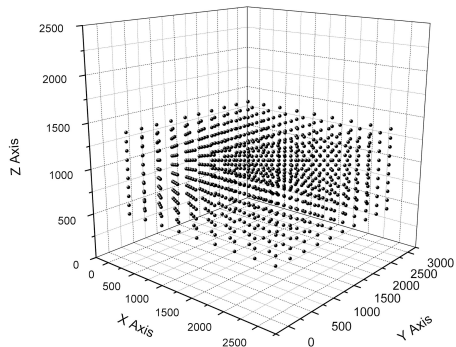
100x100x100 m<sup>3</sup>



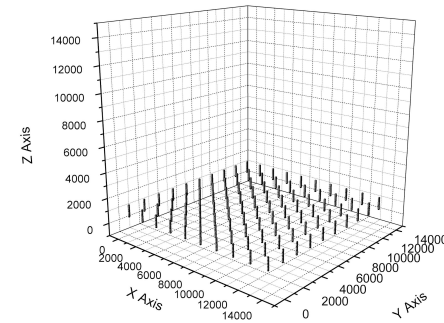
1000x1000x100 m<sup>3</sup>



500x500x100 m<sup>3</sup>



1500x1500x100 m<sup>3</sup>

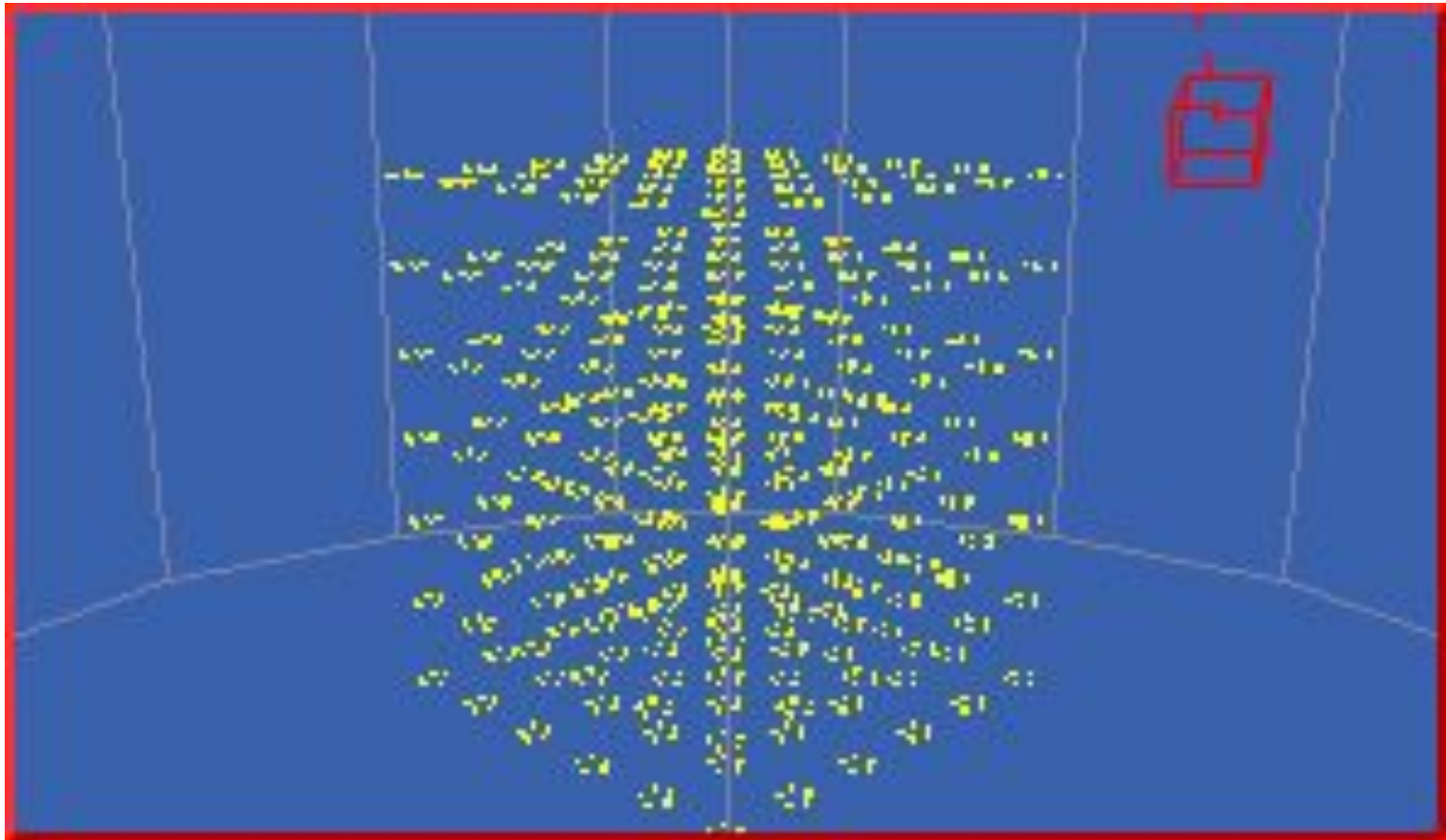


1000  
Гидрофонов





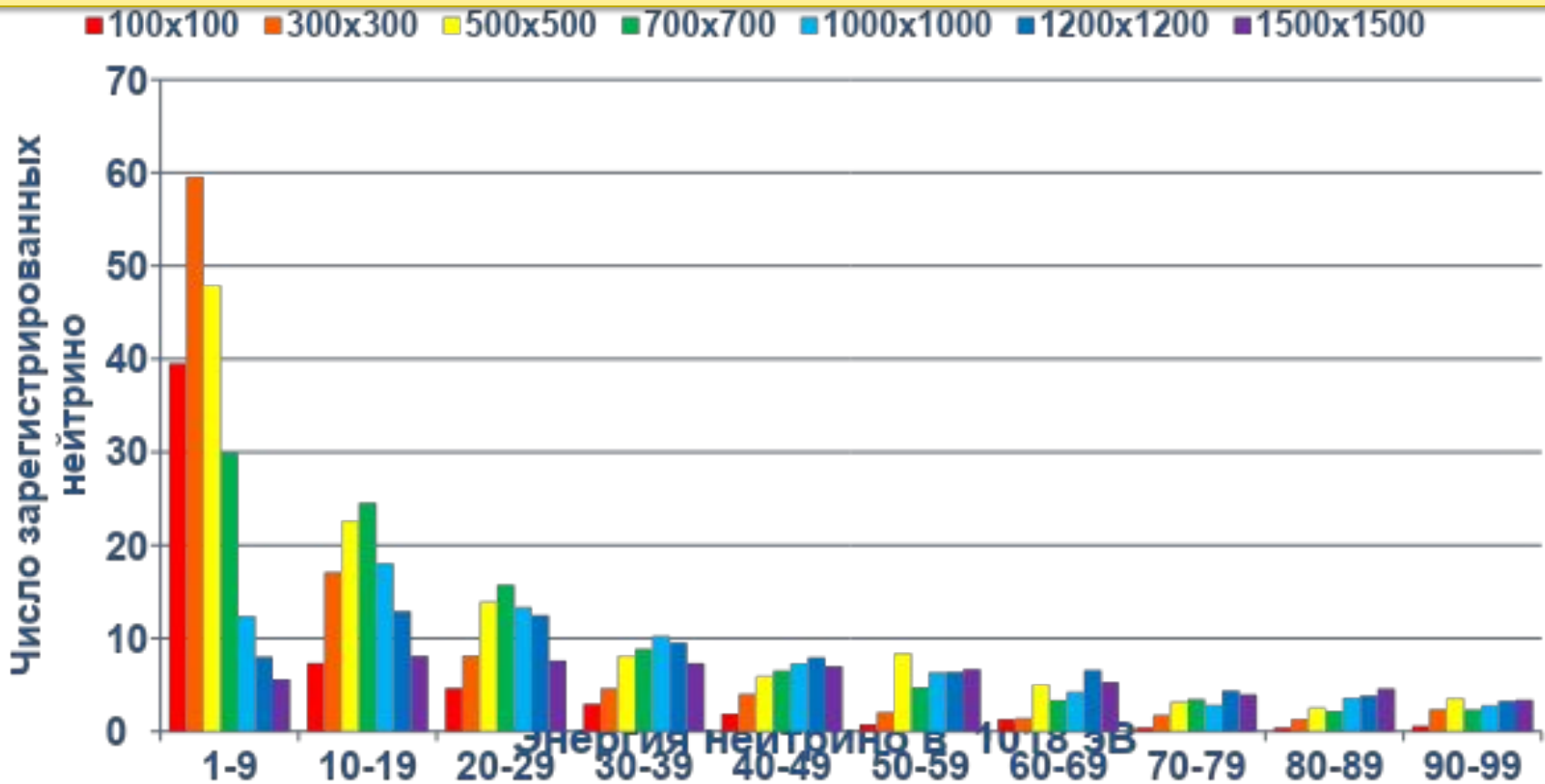
# Типичное событие





# Результаты моделирования

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

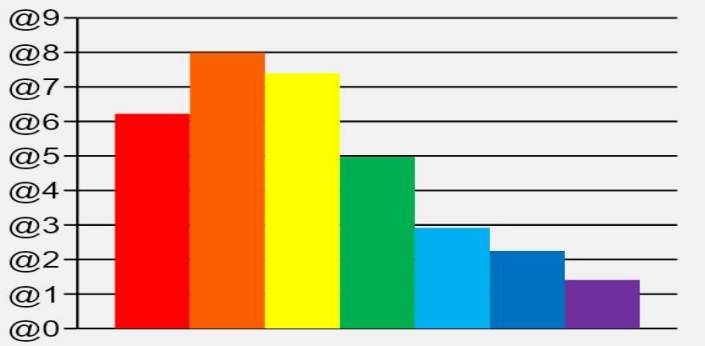




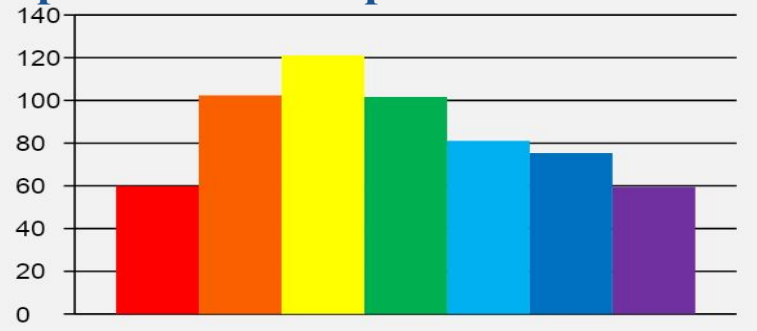
# Результаты моделирования

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

Эффективность регистрации, %

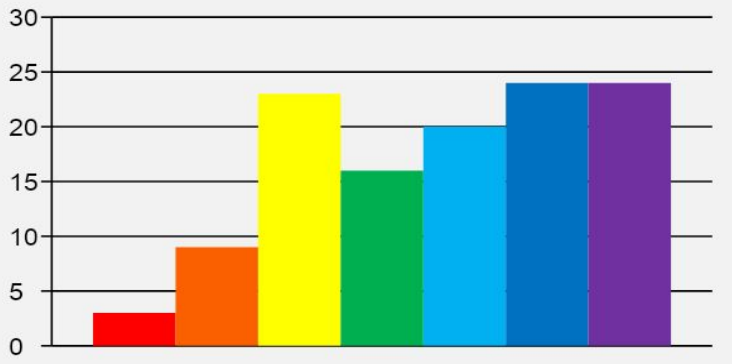


Полное число зарегистрированных нейтрино



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!

