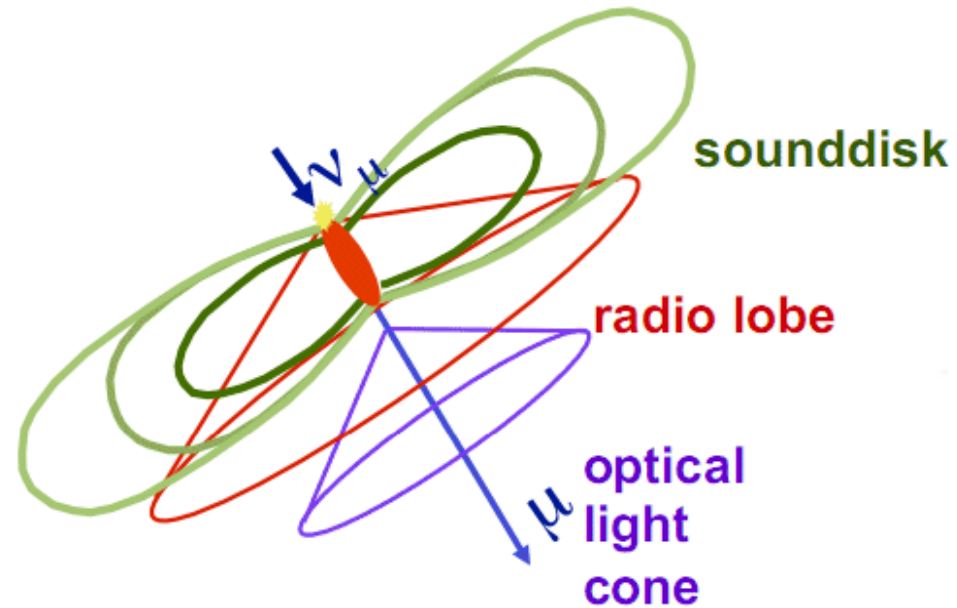


# Исследования по акустическому детектированию нейтрино

*Лаборатория новых методов  
детектирования нейтрино и других  
элементарных частиц ИЯИ РАН*

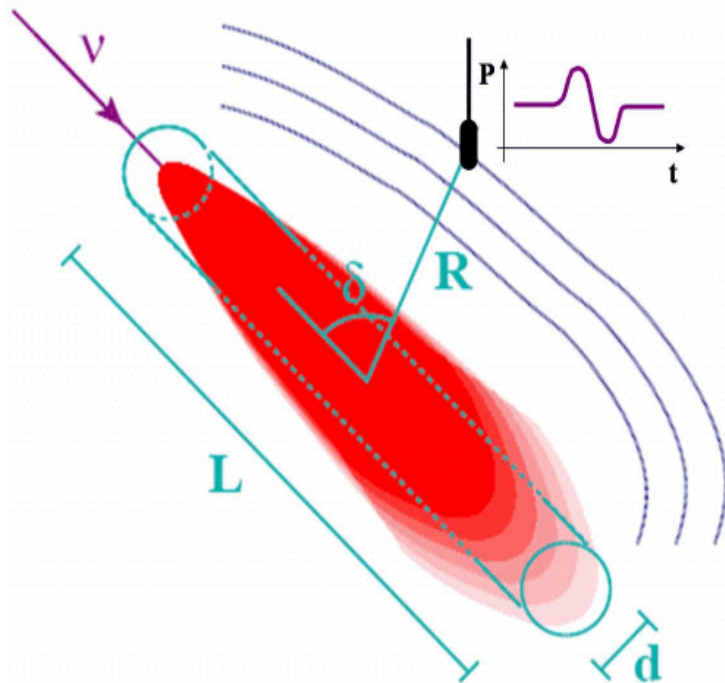
# Детектирование нейтрино сверхвысоких энергий

- изучение взаимодействия нейтрино с нуклонами и электронами при энергиях, недоступных современным ускорителям
- внегалактические нейтрино высоких энергий – уникальный источник информации о процессах в глубинах Вселенной



1976 г. Г. Аскарьян, И. Долгошеин и Р. Боуэн предложили акустический метод детектирования нейтрино высоких энергий в океане, позволяющий существенно увеличить полезный объем детектора

# термоакустическая модель генерации звука [1]



$$p = \Upsilon (E/R) M' \quad \Upsilon = v_s^2 (k/C_p)$$

$$M' = (f^2/2)(\sin x/x) \quad f = v_s/(2d)$$

$$x = (\pi L/2d)(\sin \delta)$$

$p$  - амплитуда давления

$\Upsilon$  - коэффициент Грюнайзена

$E$  - энергия каскада

$R$  - расстояние до источника ,

$k$  - коэффициент теплового расширения,

$C_p$  - теплоёмкость

$v_s$  - скорость звука,

$f$  - частота,

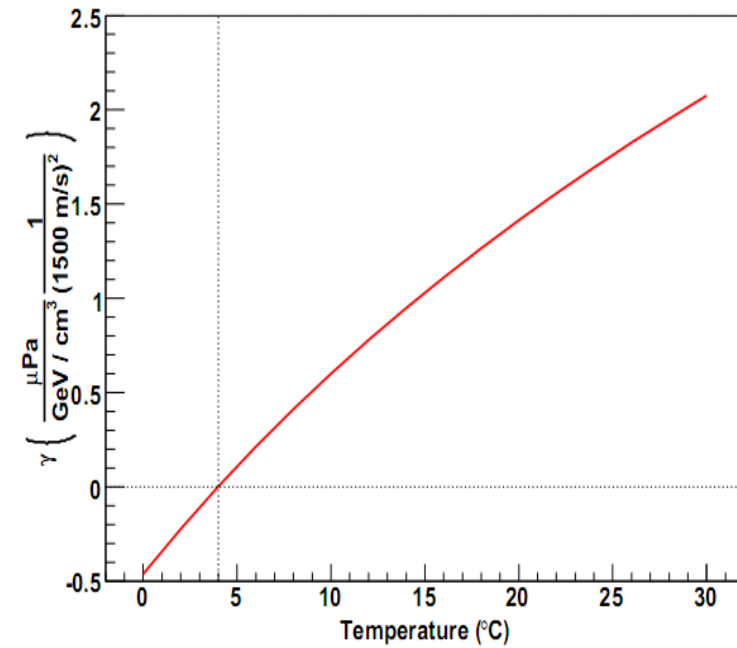
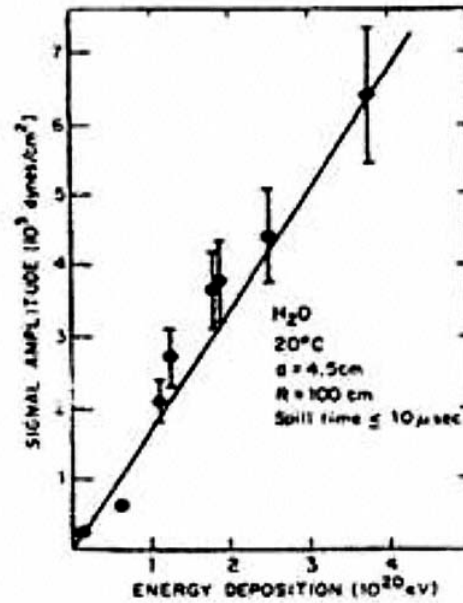
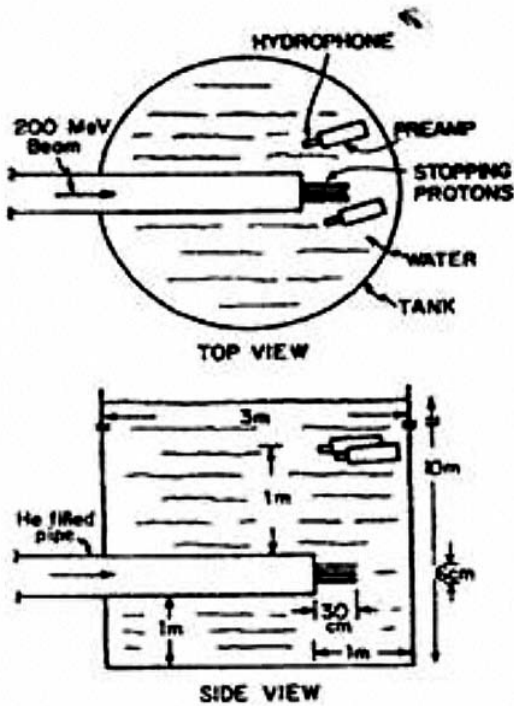
$d$  - диаметр каскада

$L$  - длина каскада

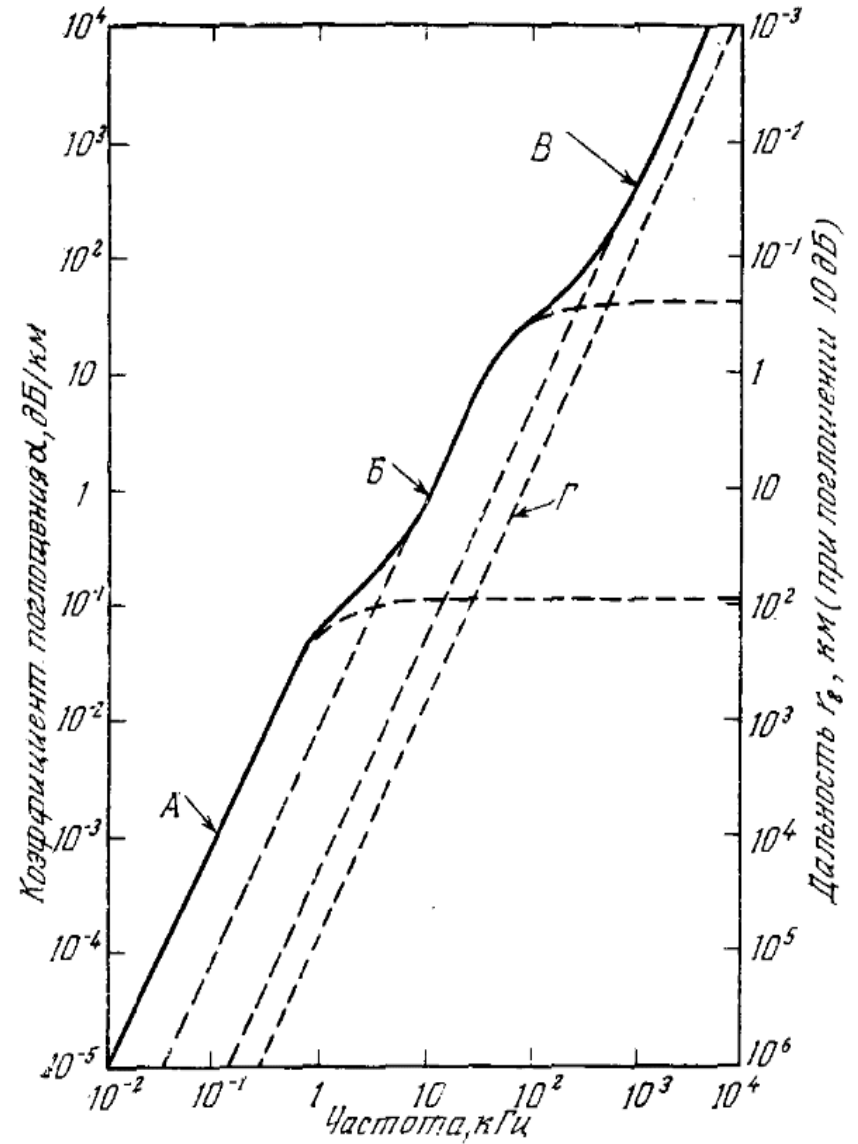
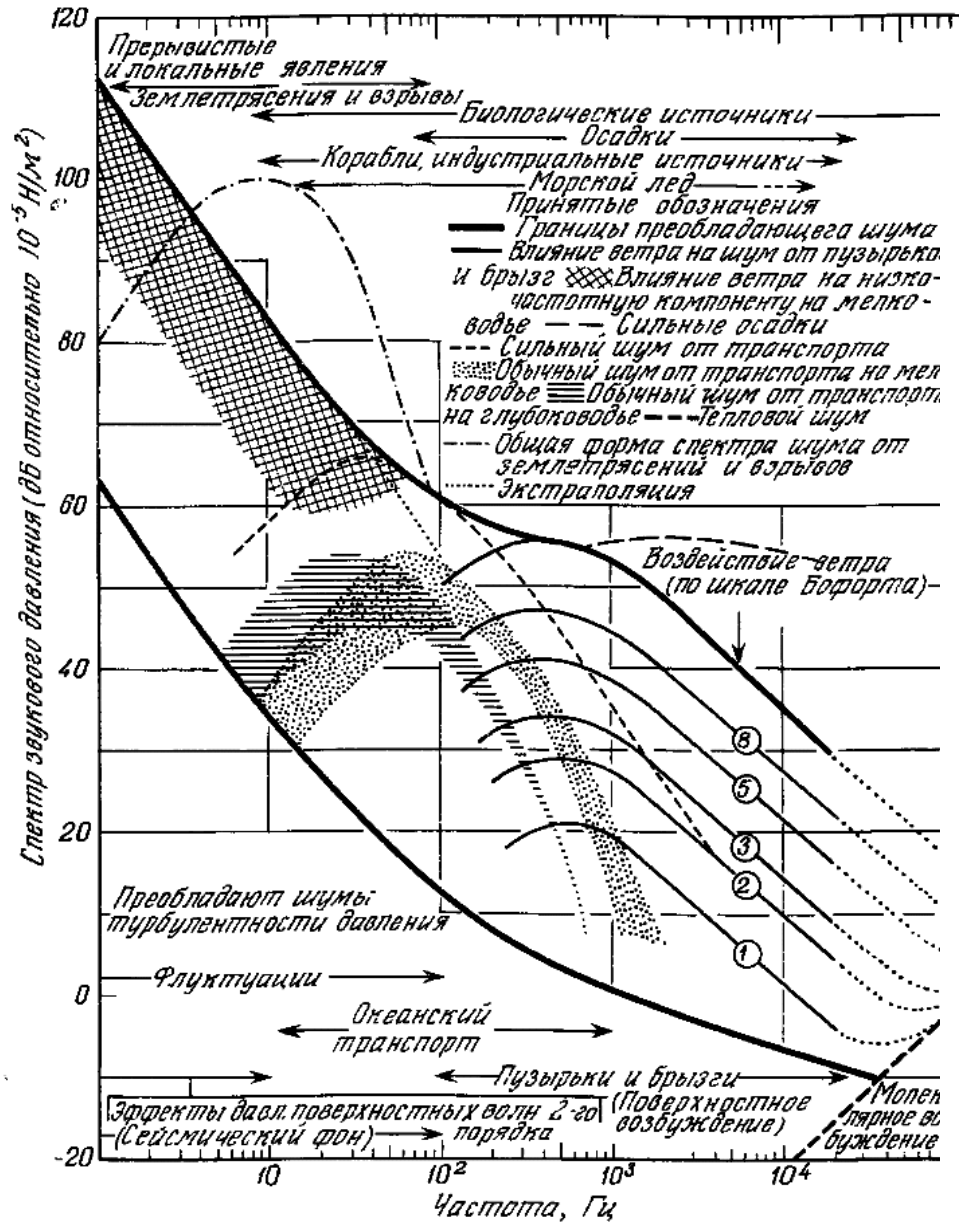
$\delta$  - угол между нормалью к каскаду и направлением на приемник

# Эксперимент по генерации звука пучком протонов

[L. Sulak, 1978]



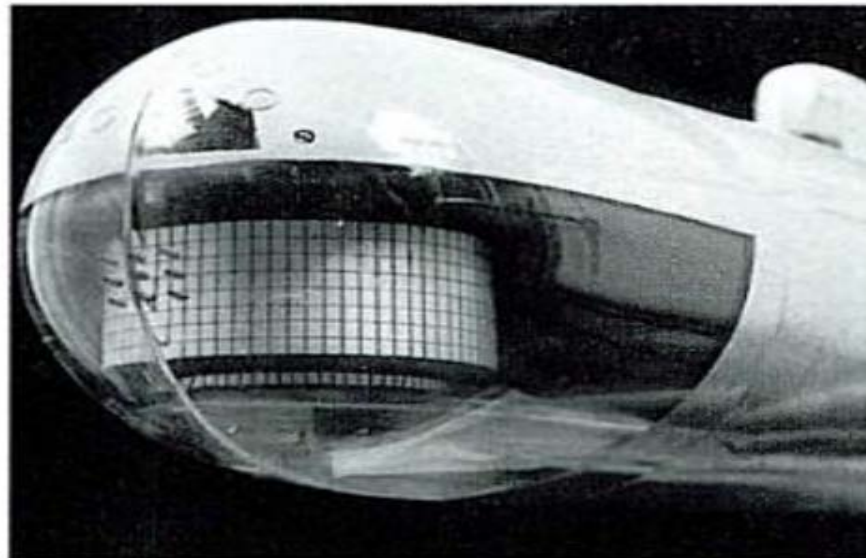
# Гидроакустика в океане



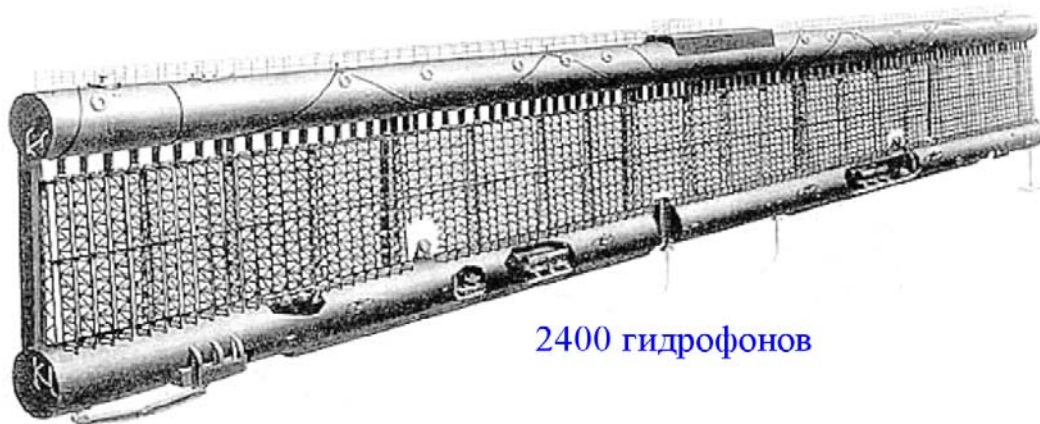
# Гидроакустические антенные решетки

**МГ-10М** - диаметр 1,6 м, высота 1,0 м,  
F < 25 кГц 132 гидрофона

**АГАМ** - глубина 200 м, высота 16,8 м,  
длина 102,5 м, F < 1,5 кГц  
2400 гидрофонов



This model probably shows MGK-300 as installed on board a "Victor"-line. (Morphysiprobor)



2400 гидрофонов

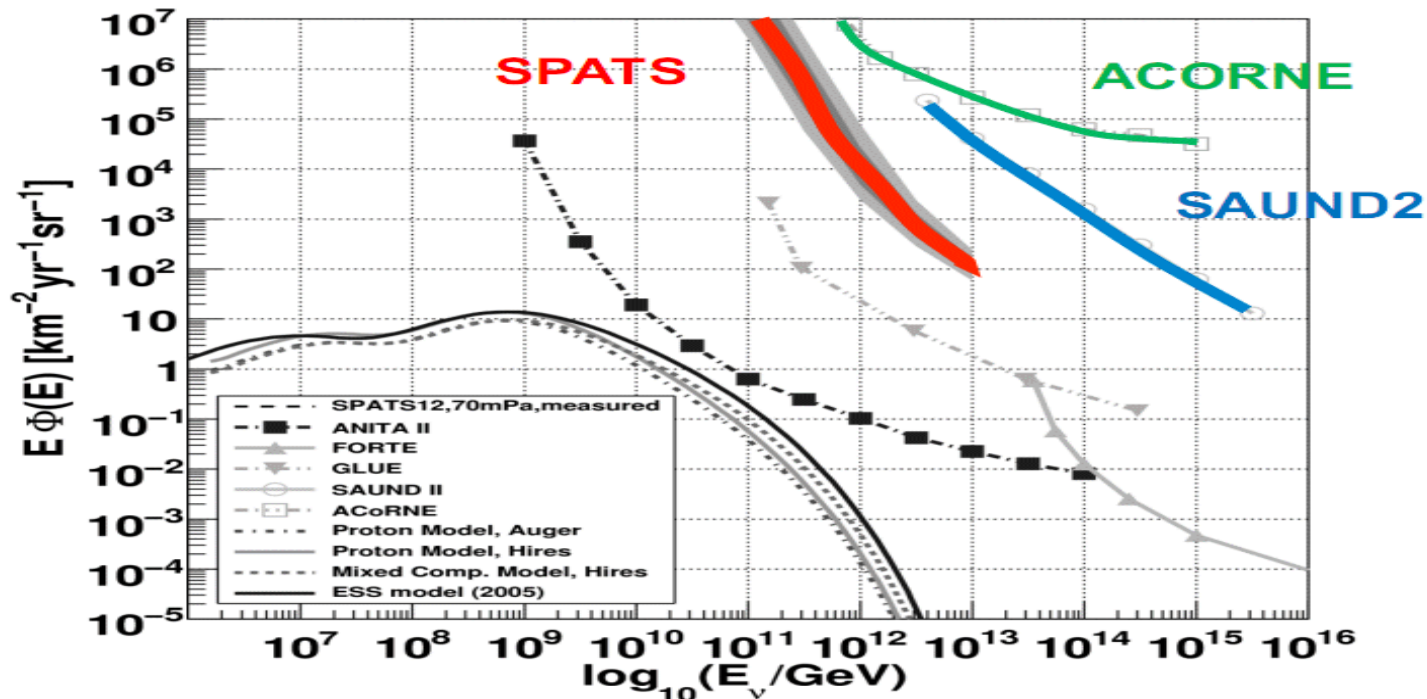
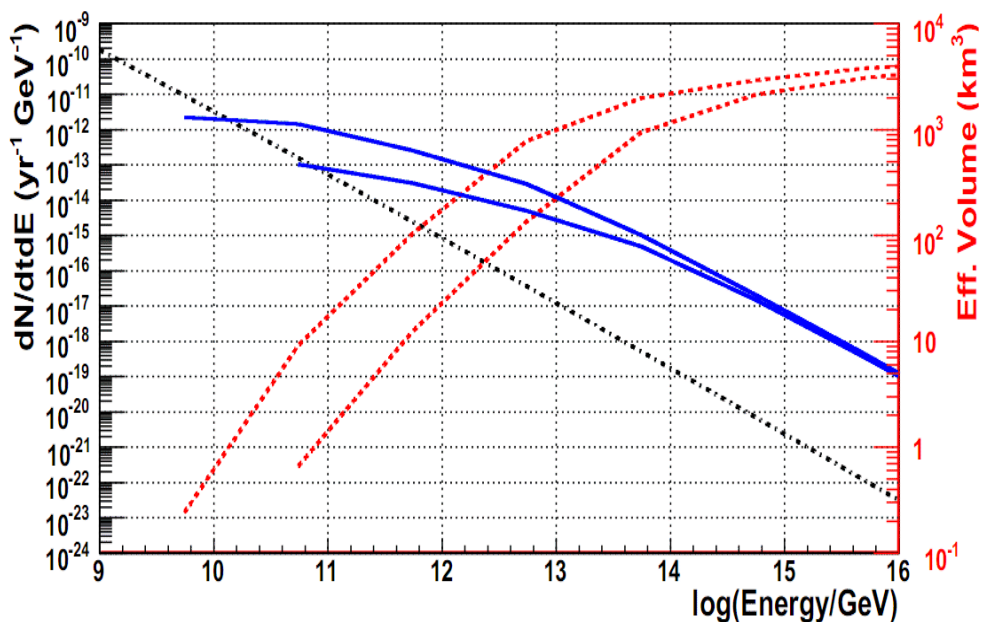
Рис. 1. Антенная БГАС «Агам».

Основные габаритные характеристики антенны: высота – 16,8 м; ширина – 4,1 м; длина – 102,5 м;  
водоизмещение в рабочем положении – 1480 м<sup>3</sup>; глубина установки – до 350 м



# Современные исследования

Experiment	Location	Medium	Sensor Channels	Host Experiment
SPATS	South Pole	Ice	80	IceCube
Lake Baikal	Lake Baikal	Fresh Water	4	Baikal Neutrino Telescope
OvDE	Mediterranean Sea (Sicily)	Sea Water	4	NEMO
AMADEUS	Mediterranean Sea (Toulon)	Sea Water	36	ANTARES
ACoRNE	North Sea (Scotland)	Sea Water	8	Rona military array
SAUND	Tongue of the Ocean (Bahamas)	Sea Water	7/49 <sup>(*)</sup>	AUTEC military array



- число событий для объёма 1 км<sup>3</sup>
  - эфф. объём (200 модулей)  
порог 5 mPa (35 mPa)
  - число событий (200 модулей)
- [R. Lahmann , 2011].  
[T. Karg, 2006]

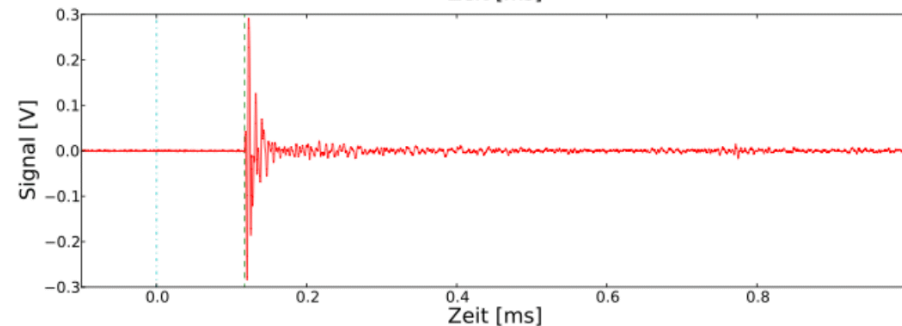
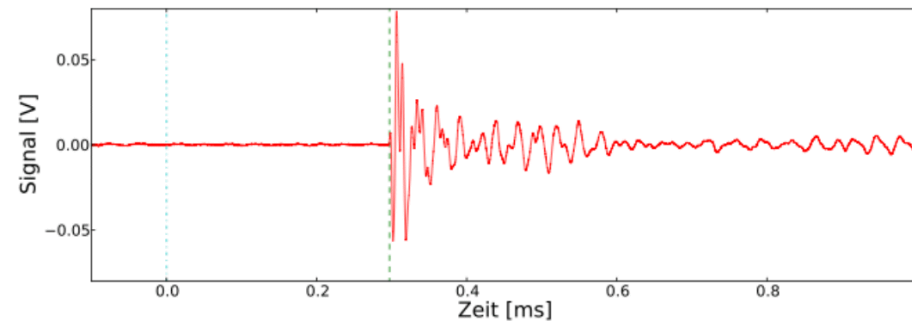
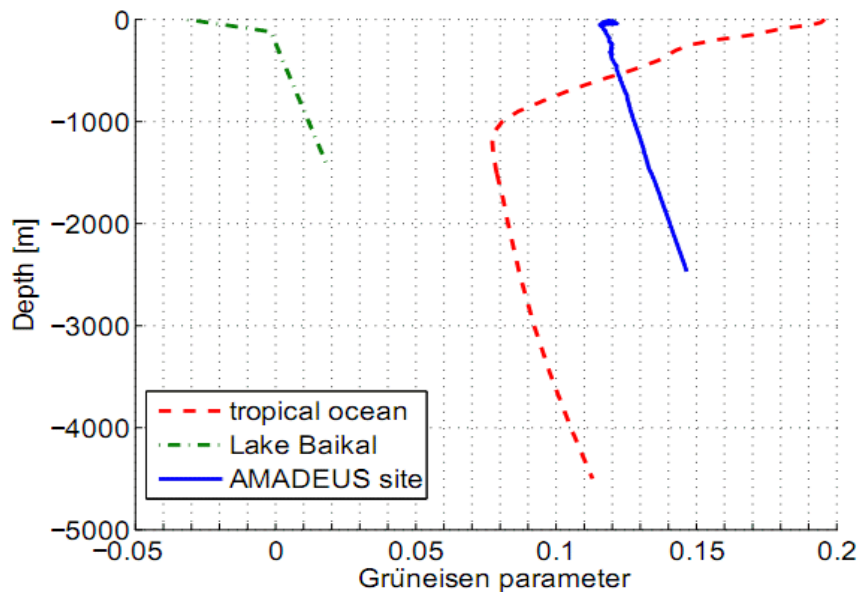
# Перспективные среды для акустического детектора нейтрино [R. Lahmann, 2011]

**Вода** - скорость звука 1530 м\сек  
длина затухания > 1000 м

коэффициент Грюнайзена  $\Upsilon = 0,153$   $f < 10$  кГц  
шумы переменные рефракция средняя

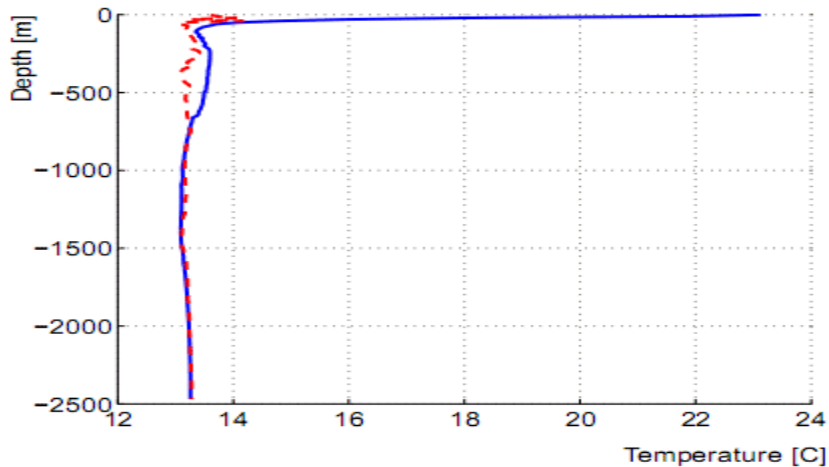
**Лед** - скорость звука 3920 м\сек  
длина затухания ~ 300 м

коэффициент Грюнайзена  $\Upsilon = 1,12$   $f < 20$  кГц  
шумы стабильные рефракция небольшая

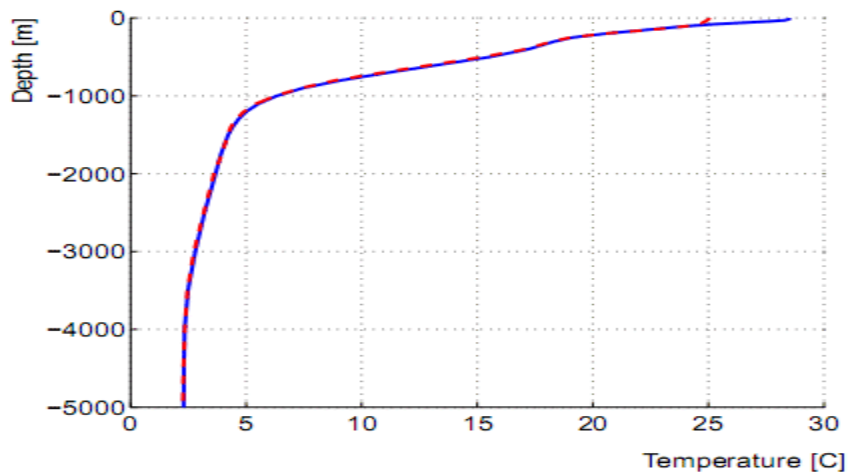




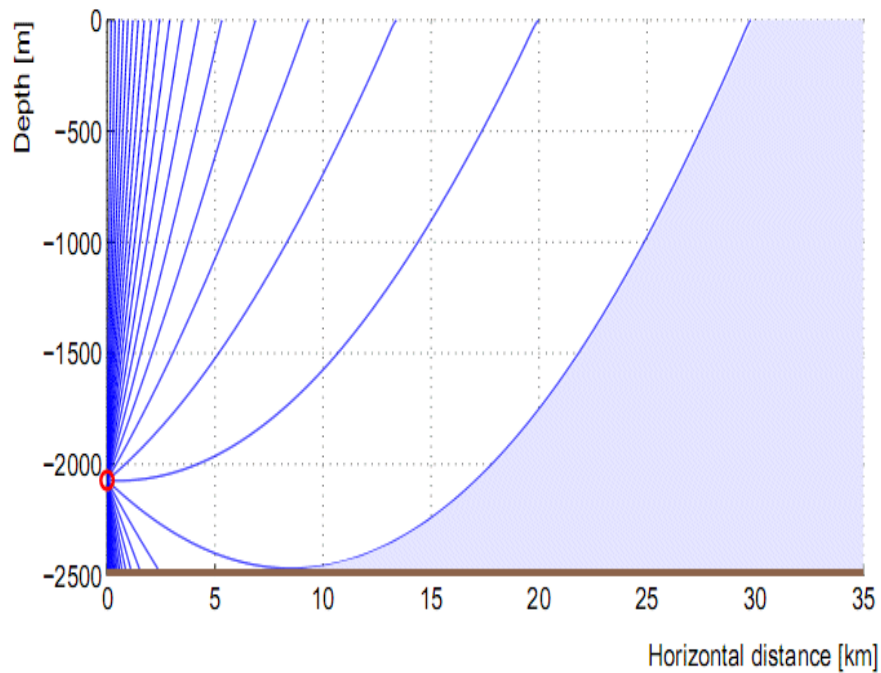
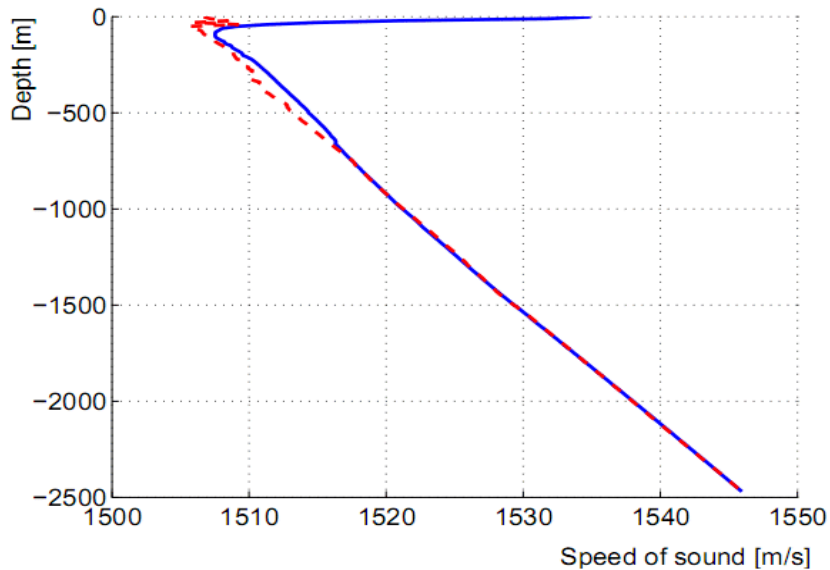
# Гидроакустические условия в Средиземном море



(a)



(b)



Наиболее подходящее место для эксперимента - Средиземное море





# Измерение коэффициента Грюнайзена

$$\rho = \gamma (E/R) M'$$

$$\gamma = v_s^2 (k/C_p)$$

## Импульсный лазер

на алюмоиттриевом гранате с длиной волны излучения **2,94 мкм** (перфоратор «Эрмед-304»).

Длина поглощения света в воде  $\sim$  **1 мкм**

Энергия импульса лазерного излучения  $\sim$  **0,1 Дж**

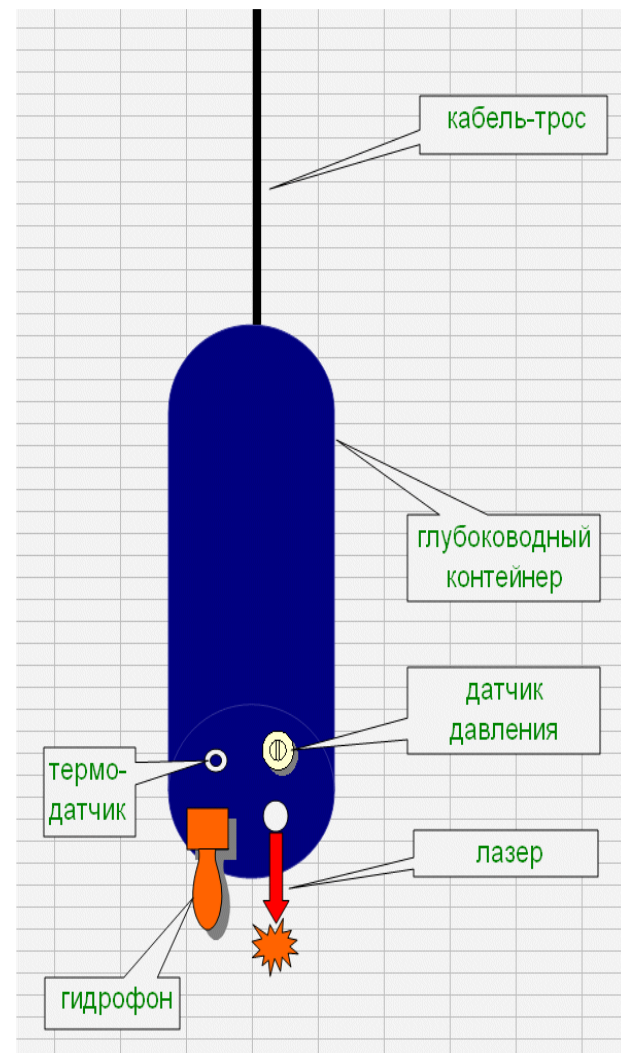
Ширина пучка лазерного излучения  $\sim$  **5 мм**

Длительность оптического импульса  $\sim$  **200 мкс**

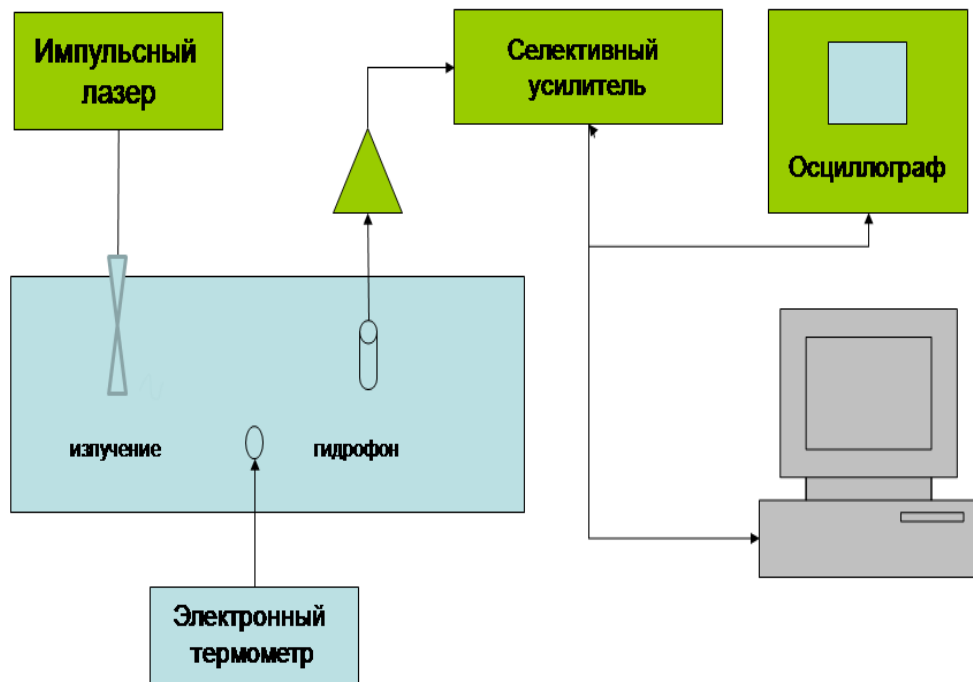
## Пьезокерамический гидрофон

чувствительность **60 мкВ/Па**

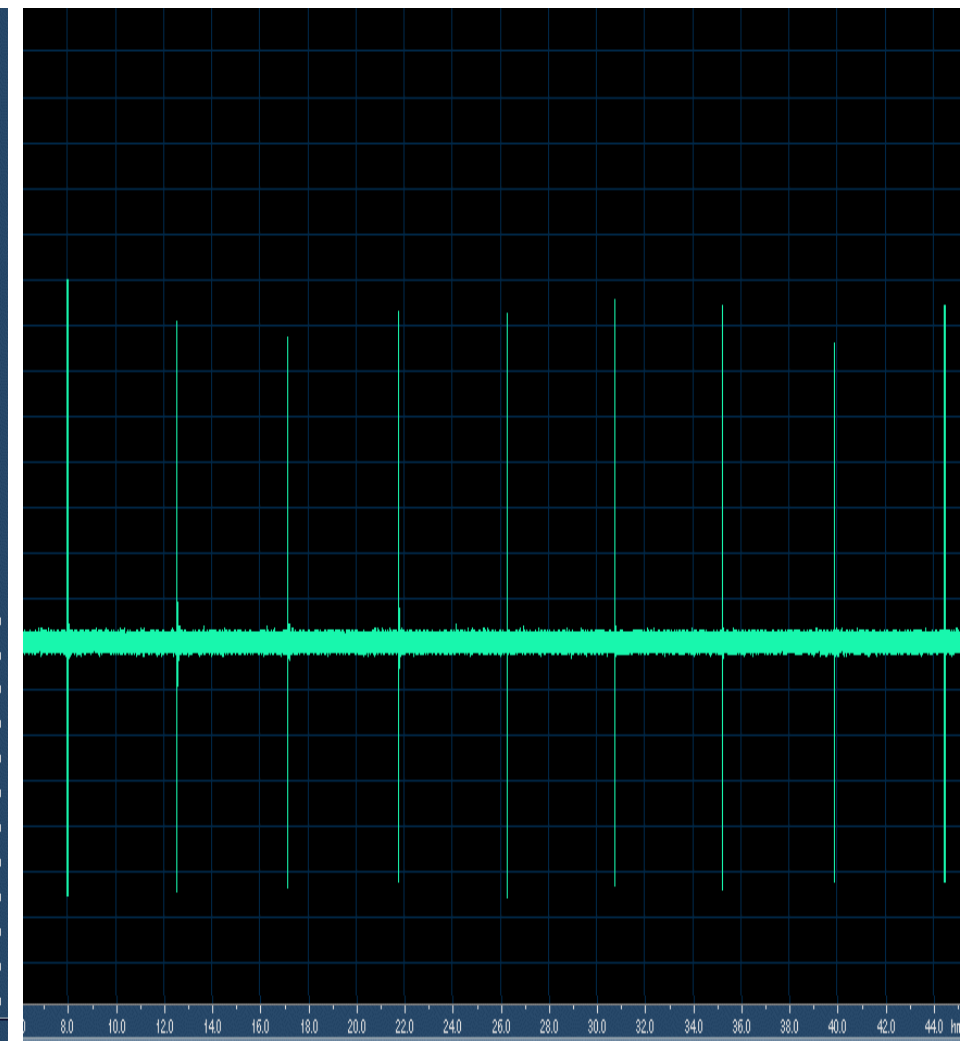
полоса частот **0,1 – 100 кГц**



# Экспериментальная установка



# Форма и амплитуда генерируемых лазером акустических импульсов



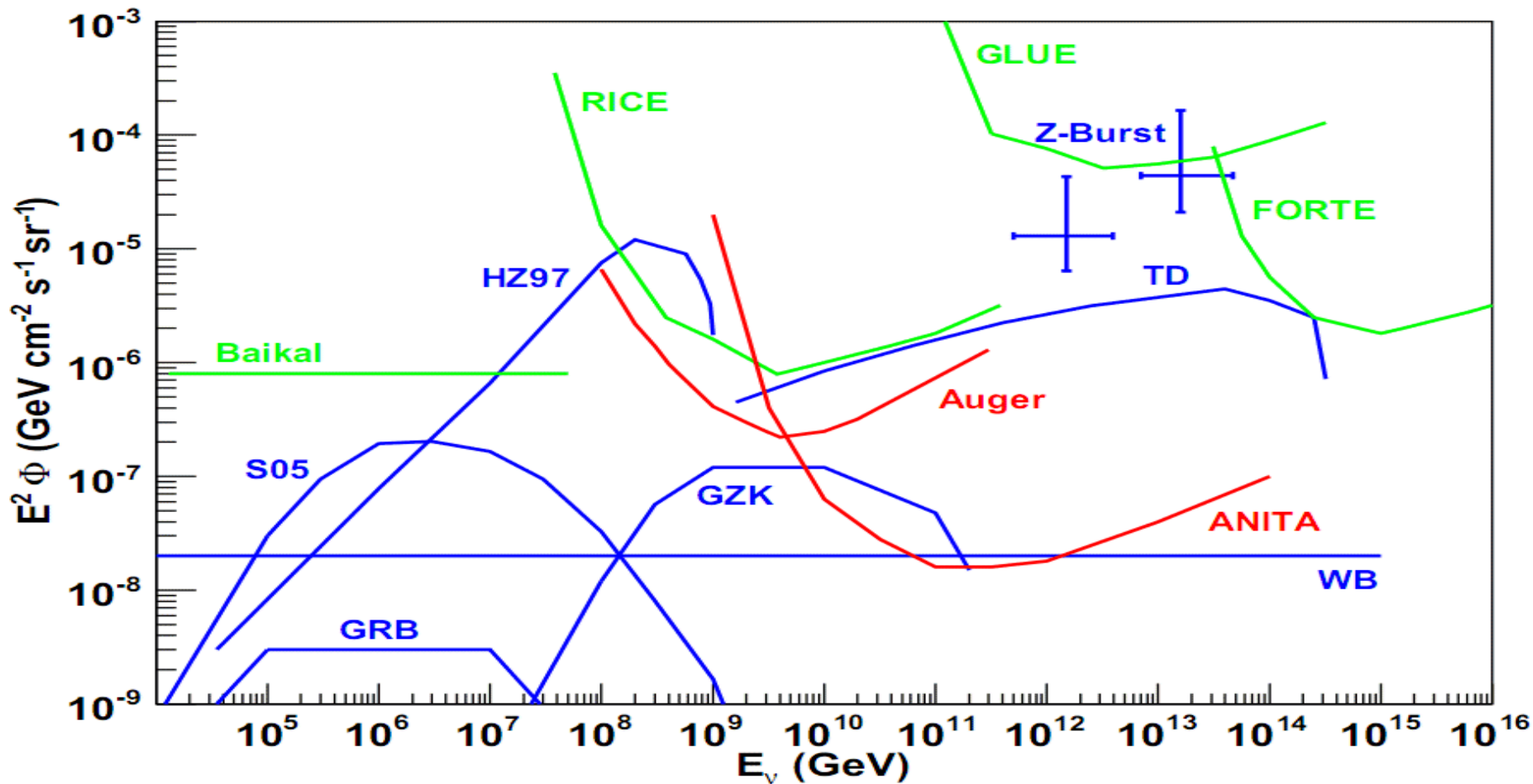
# Выводы

1. Компактный импульсный лазер на алюмоиттриевом гранате создает акустический импульс большой амплитуды, не создает заметных помех на тракт акустической регистрации и является привлекательным для использования в автономном приборе для измерения коэффициента *Грюнайзена*.
2. Для исключения эффекта испарения воды необходимо заменить активный элемент лазера на алюмоиттриевом гранат с добавками неодима, излучающий импульс с длиной волны 1,064 мкм и меньшим поглощением в воде
3. Небольшая область поглощения излучения позволяет размещать гидрофон на небольших (до 10 см) расстояниях от оси пучка лазера и упрощает конструкцию измерительного модуля.



Благодарю за внимание

# Сравнение теоретических и экспериментальных ограничений на потоки нейтрино [Т. Karg, 2006]



----- теория

----- эксперимент

----- будущие эксперименты



Совместно с лабораториями ИЯИ РАН ЛНИ и ЛАЯ проводились работы по совершенствованию и оптимизации схемы двухкоординатного позиционно-чувствительного газоразрядного детектора нейтронов с конвертирующим слоем из твердого бора-10.

---

Совместно с лабораторией ИЯИ РАН ЛНИ (В.С.Литвин) подготовлен макет двухкоординатного позиционно чувствительного детектора (ПЧД) тепловых и холодных нейтронов на основе лавинных фотодиодов (МЛФД). для испытаний с изотопным источником нейтронов.

Проведены испытания двух координатного позиционно чувствительного детектора (ПЧД) тепловых и холодных нейтронов на основе лавинных фотодиодов (МЛФД).

Для испытаний использовался источник нейтронов Cf с замедлителем из полиэтилена толщиной 5 см. Получен амплитудный спектр нейтронных импульсов.

---

Целью работы является разработка системы двух плоскопараллельных узкозоровых диэлектрических резистивных газовых камер, обладающих высокой загрузочной способностью до  $10^7 \text{ с}^{-1}$ . Система предназначена для получения быстрых коротких временных сигналов с целью последующего использования их в измерении времени пролета и образовании сигнала “мастер” с временным разрешением 0,1 нс.