

Физика нейтрино сверхвысоких энергий

Нейтрино. Основные характеристики

- Лептон. Имеется 3 типа.
- Взаимодействие-слабое, гравитационное (?)
- Масса (если есть)- менее 1.5 эВ
- Эл.заряд-отсутствует
- Возможны осцилляции-переход нейтрино одного типа в другой (при наличии массы)
- Предсказание-1930 г., первая регистрация – 1956 г.
- Средний пробег в твёрдом веществе – 10^{15} км

Главная особенность

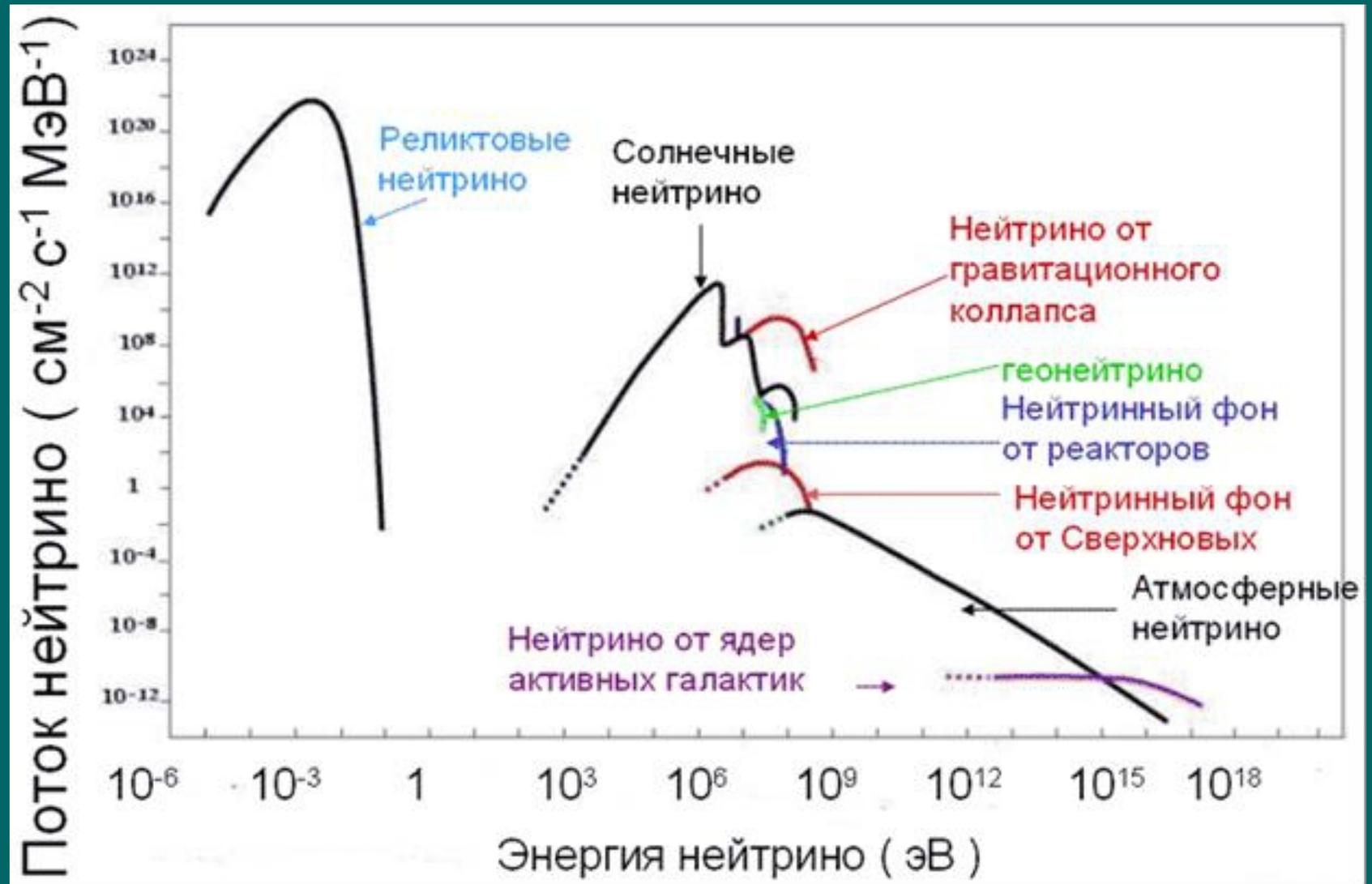
$$\sigma = 10^{-20} \text{ барн}$$

Источники нейтрино

Методы регистрации

энергия нейтрино (эВ)	Источники нейтрино		Методы регистрации	
	Энергия (эВ)	Источники	Местоположение	Методы
10^{21}	10^{21}	Сверхмассивные частицы Грейзен-Зацепин-Кузьмин	Подводные	Детекторы ШАЛ Радио Акустика (?)
10^{18}	10^{18}	Активные ядра галактик Сверхновые Центр нашей галактики Гамма всплески Объекты яркой фазы		
10^{15}	10^{15}	Темная материя Космические лучи	Подземные	Черенковские
10^{12}	10^{12}	Солнце Земля		Черенковские Радиохимические Сцинтилляционные
10^9	10^9	Реликтовое излучение		Нет
10^6	10^6			
10^3	10^3			
1	1			
10^{-3}	10^{-3}			

Спектр нейтрино различного происхождения



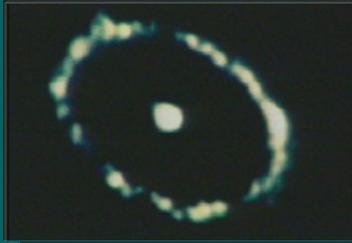
Пределы астрофизики высоких энергий



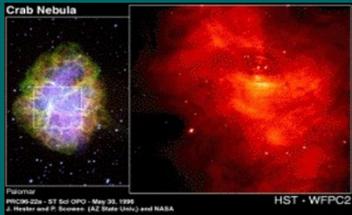
Цели наблюдений

Галактические

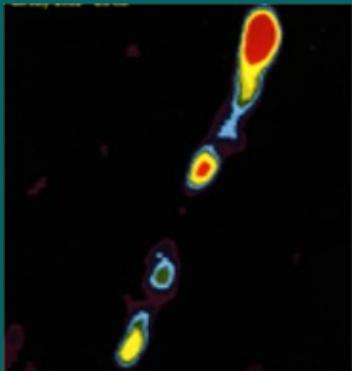
Сверхновые и
остатки
сверхновых



Пульсары

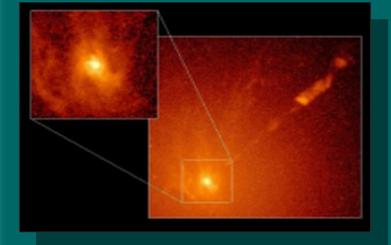
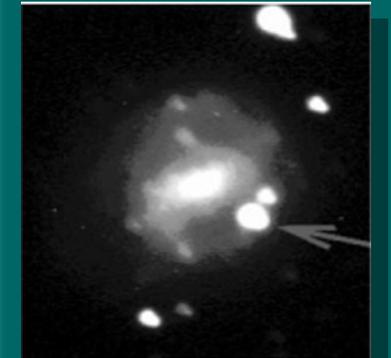


Микроквезары

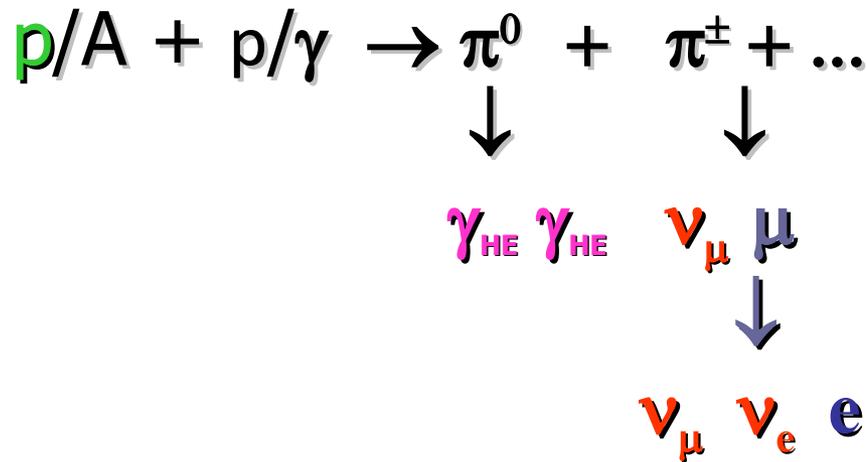


Внегалактические

Гамма-всплески

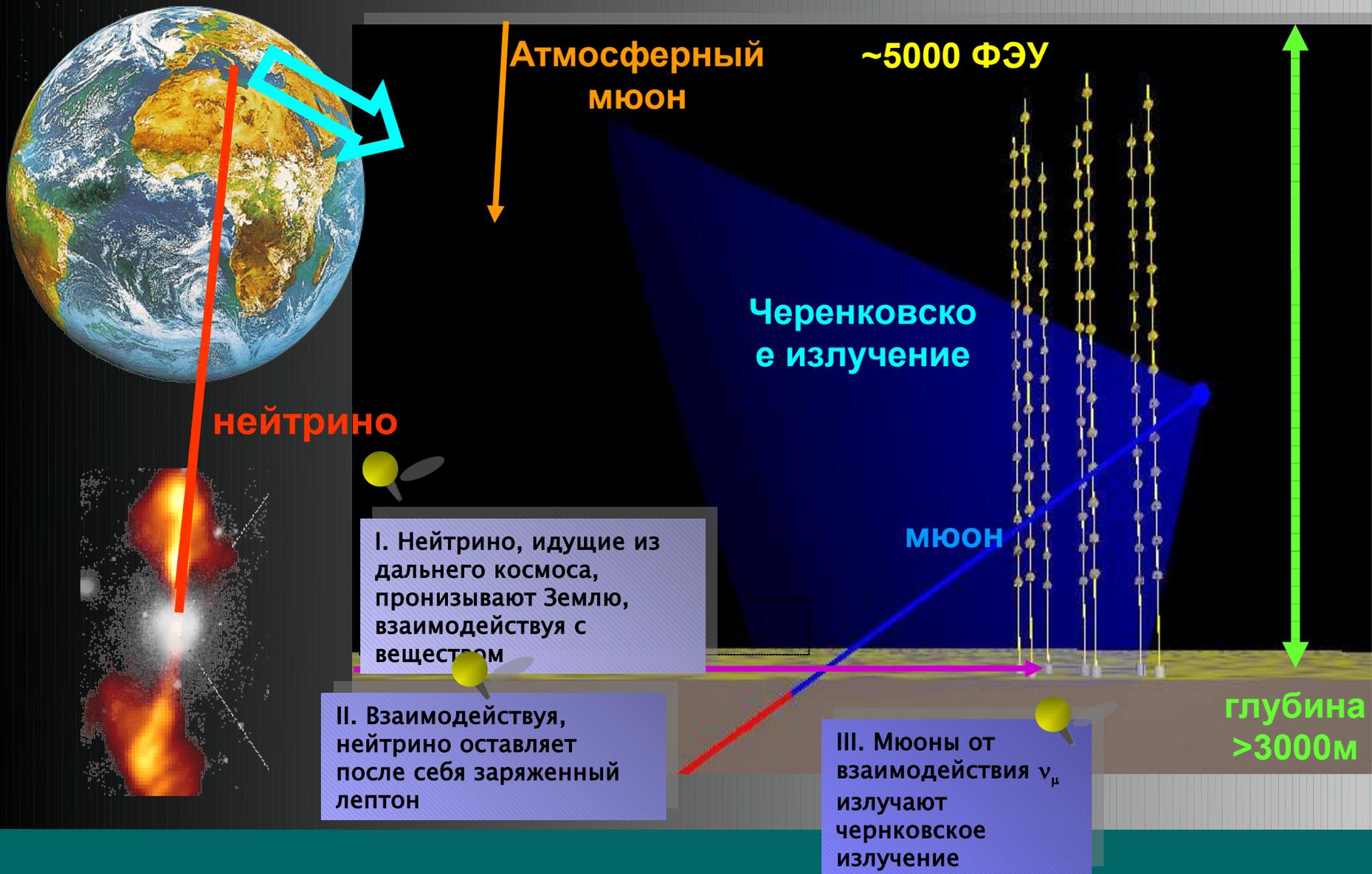


Активные
галактические
ядра



- Происхождение космических лучей
- Свойства известных источников
- Неизвестные источники

Черенковский метод регистрации нейтрино

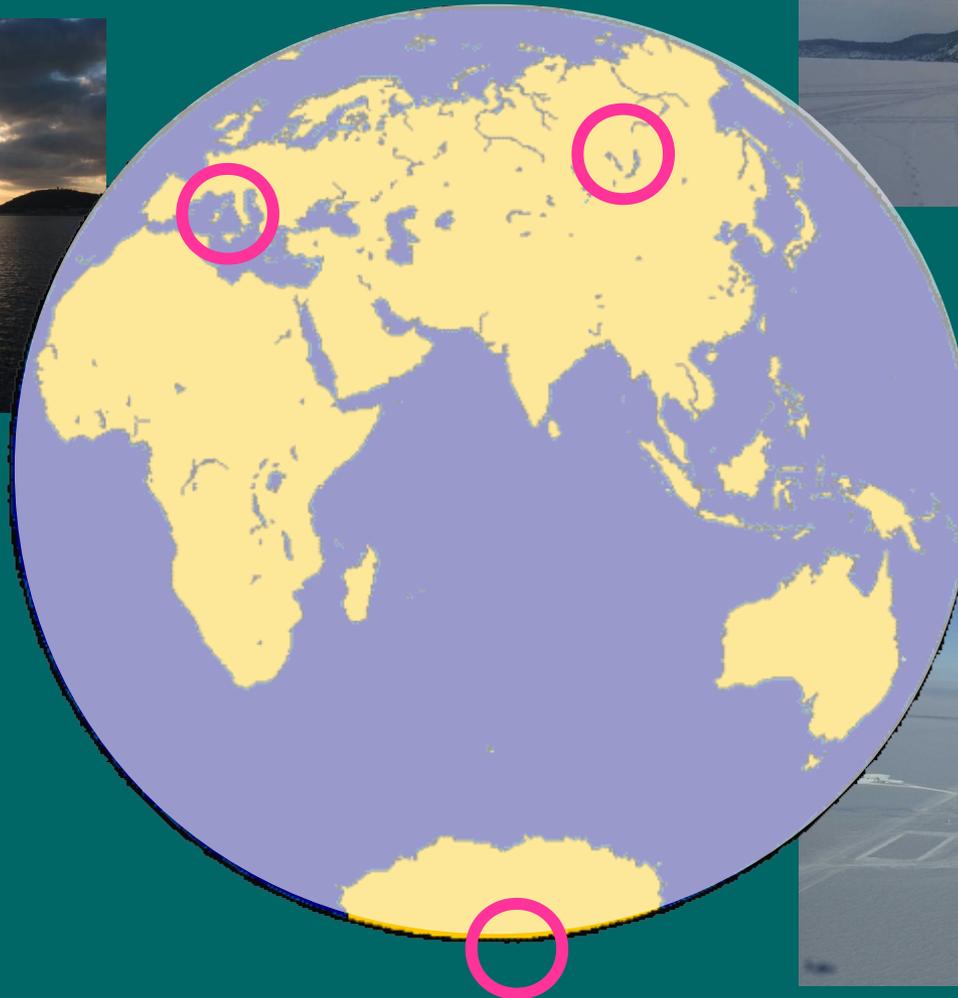


HE ν telescopes

Lake Baikal



Mediterranean



South Pole



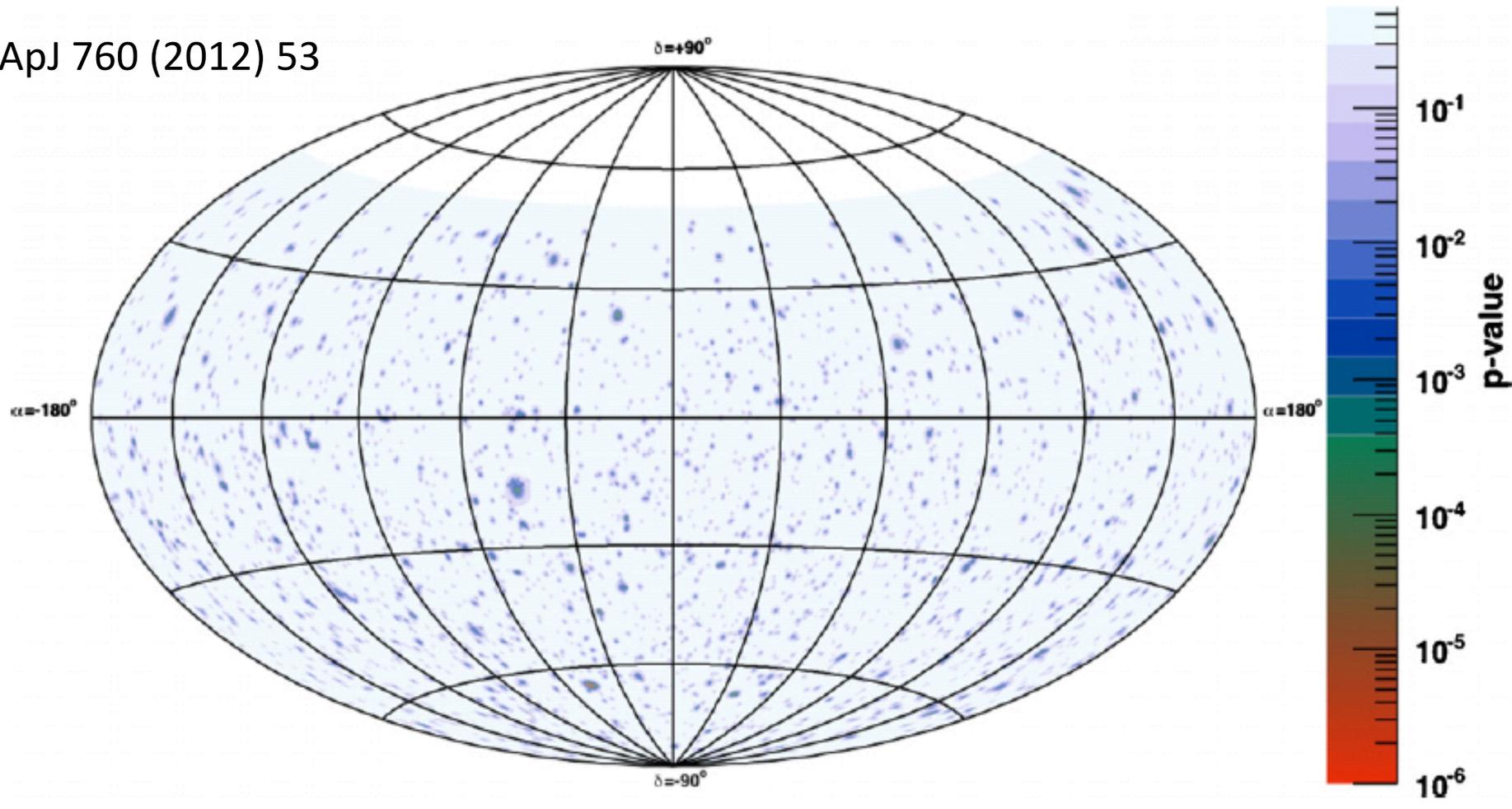
Текущая ситуация

- IceCube (1 куб.км), Южный полюс
- ANTARES (0.09 куб.км) Тулон, Средиземное море
- Байкальский телескоп (0.03 куб.км) Байкал, Россия
- NEMO (сооружается)

- KM3Net (1.2 куб.км) Capo Passero (?)

Поиск точечных источников

АрJ 760 (2012) 53



Данные 2007-2010

~3000 нейтринных событий (85 % чистота)

Угловое разрешение $0.5 \pm 0.1^\circ$

Текущие измерения

Астрофизика:

Точечные источники

Гравитационные линзы

Гравитационные волны

Суммарный поток космических нейтрино

Суммарный поток от диска Галактики

Гамма всплески

Микроквезары

Ферми пузыри

Физика частиц:

Осцилляции нейтрино

Поток атмосферных нейтрино

Поток атмосферных мюонов

Анизотропия атмосферных потоков

Адронные каскады

Электромагнитные каскады

Изучение детектора:

Калибровка времени / Позиционирования

Тень Луны

Оптические свойства воды

Групповая скорость воды

Акустика

Биолюминесценция

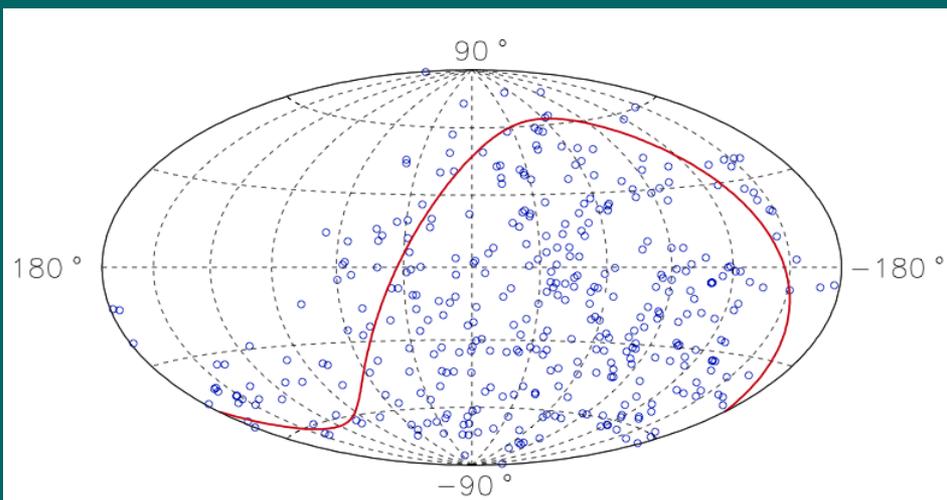
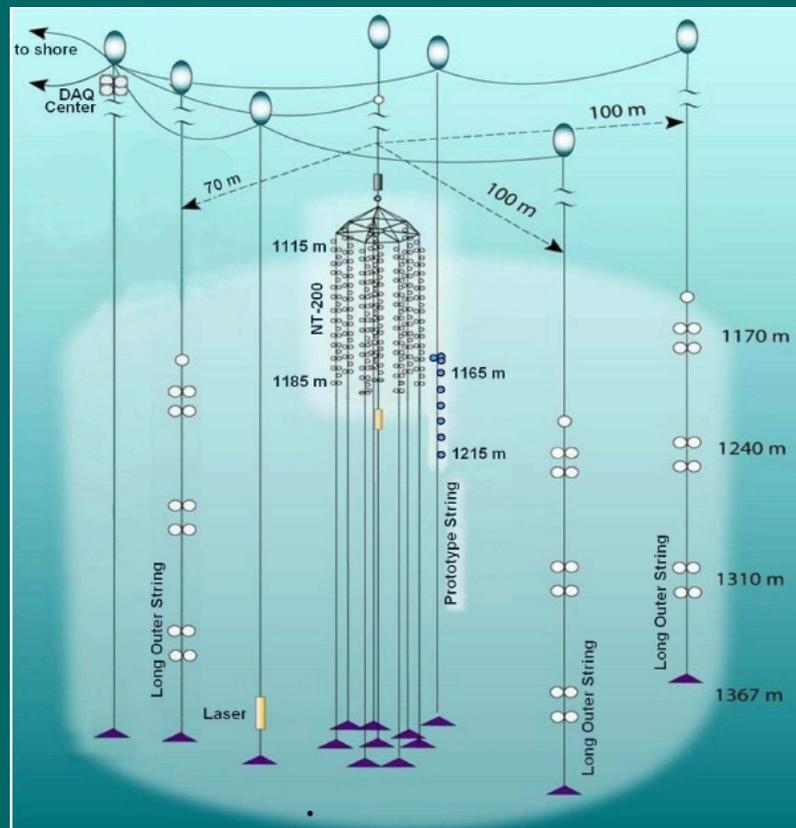
Экзотика:

Тёмная материя

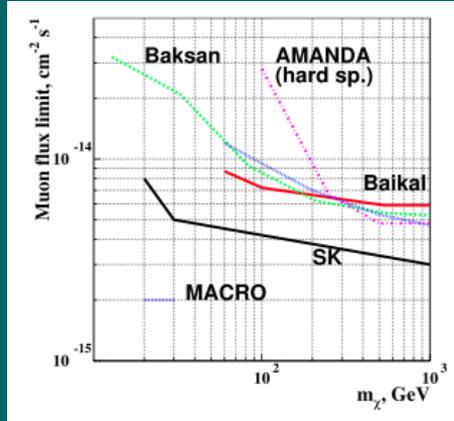
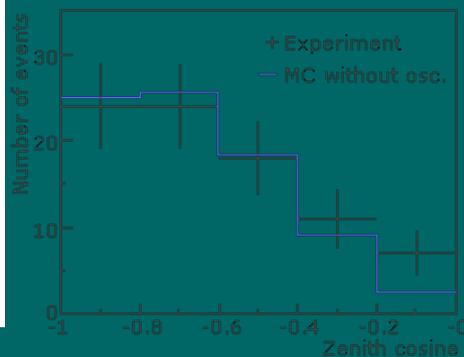
Магнитные монополи

Байкальский нейтринный телескоп

- глубина - 1100-1200 м
- 192 ФЭУ (8 струн)
- с 1998 г. - сбор данных
- атмосферные мюоны (1 млн в день)
- атмосферные нейтрино (1 в два дня)
- 2005 NT200+ (3 новых струны)
- Планируется расширение GVD

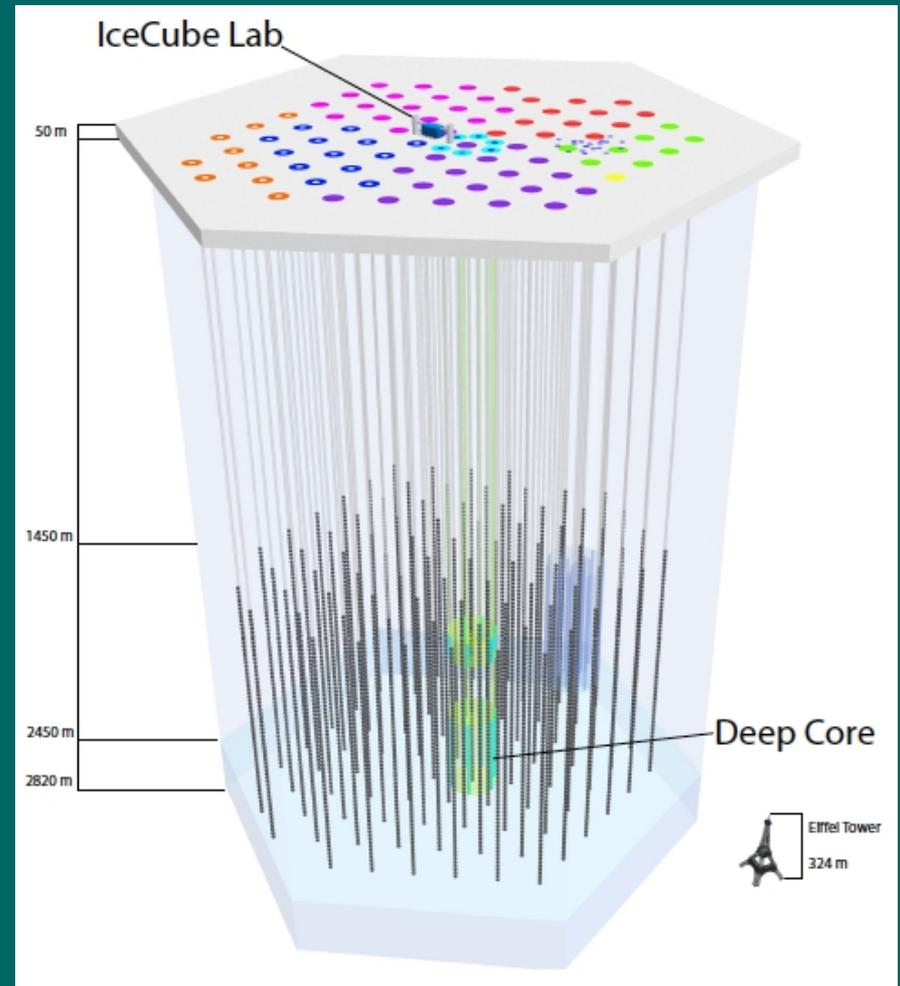


5 лет работы

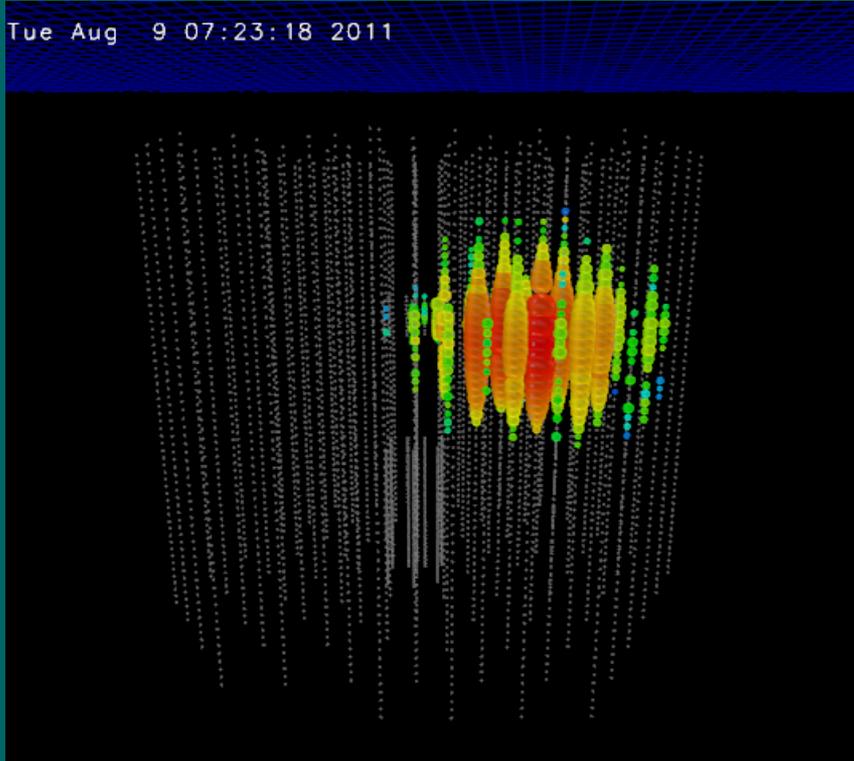


Ice Cube

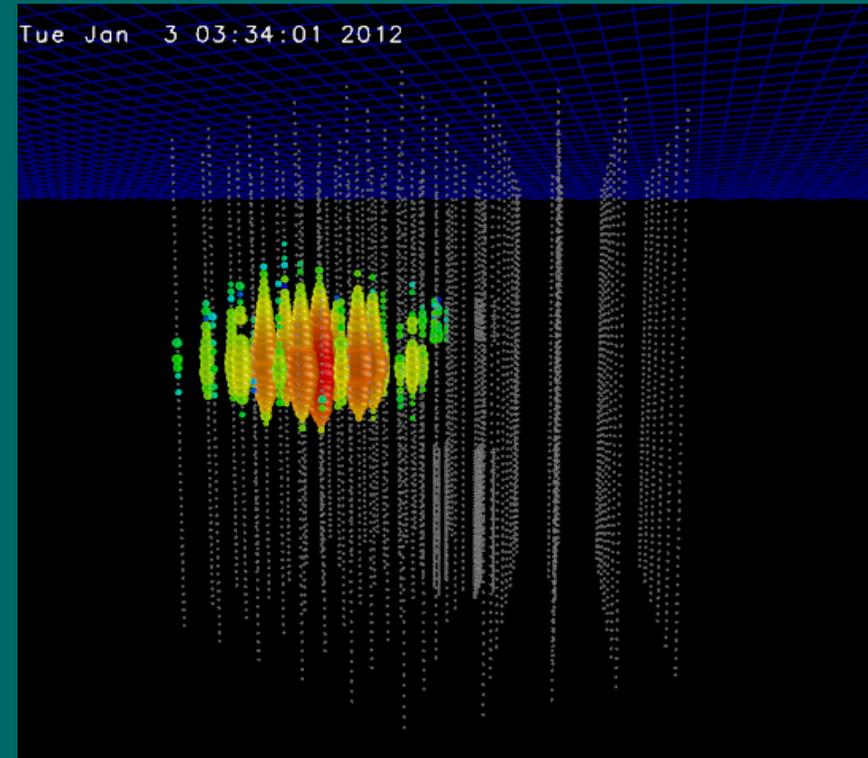
- 5160 ФЭУ
- 1 км³
- 86 струн
- 17 м между ФЭУ
- 120 м между струнами
- ~1° угл. разрешение
- 2010 – полная комплектация



2 события



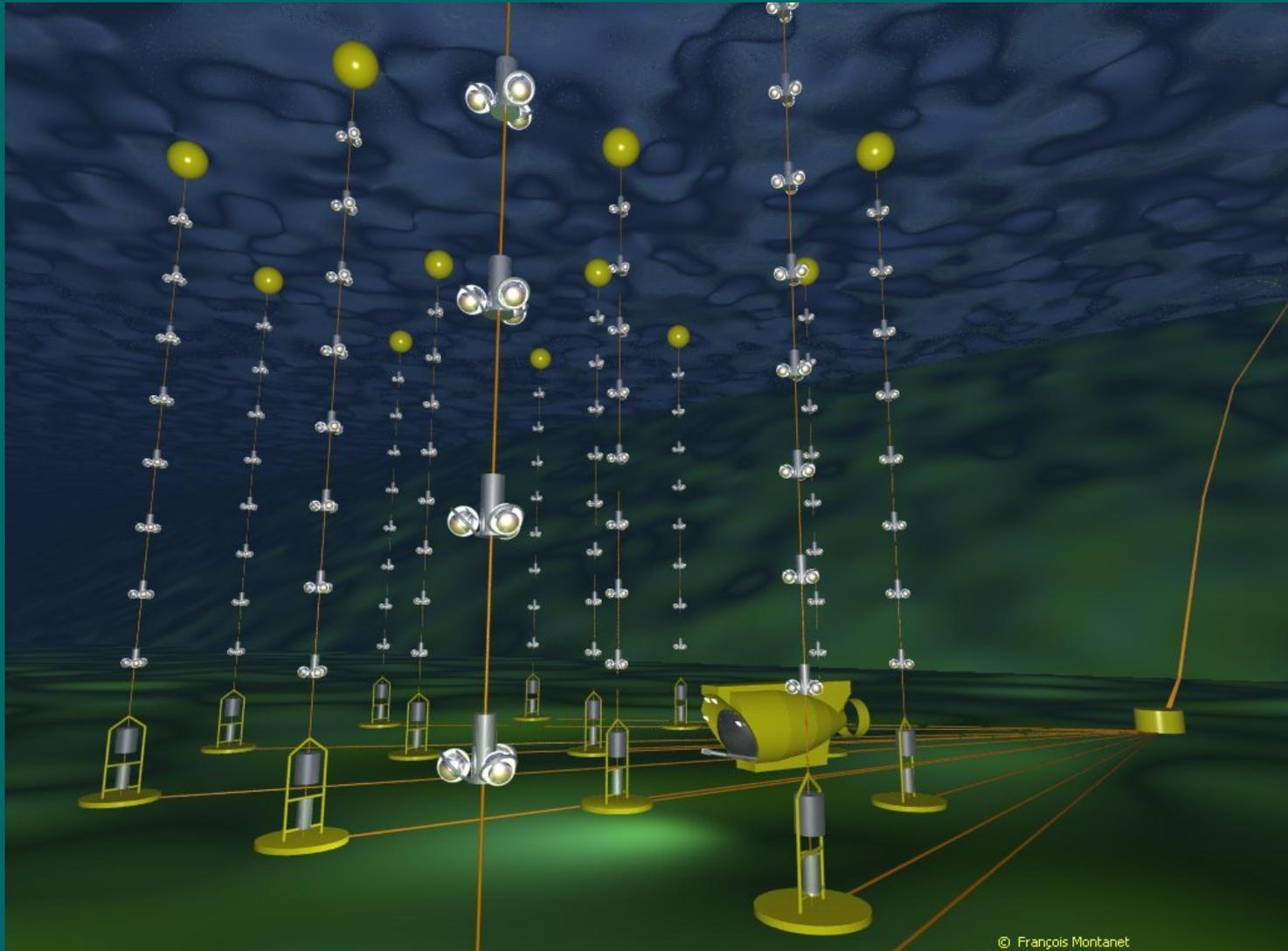
- «Берт»
~1050 ТэВ



- «Эрни»
~1150 ТэВ

arXiv:1304.5356

Проект ANTARES (с 2009)



© François Montanet



Е.В.Широков 26 ноября 2013 г. НИИЯФ МГУ



Е.В.Широков 26 ноября 2013 г. НИИЯФ МГУ

С июня 2009 г. группа Московского Университета официально принимает участие в работе проекта

✓ LPC Clermont-Ferrand	Laboratoire de physique corpusculaire - UMR 6533, Clermont-Ferrand Contact : C. Carloganu
✓ LAM	Laboratoire d'astrophysique de Marseille Observatoire Astronomique Marseille-Provence (OAMP) (CNRS/INSU - Université de Provence Aix-Marseille I) Contact : S. Basa
✓ GéosciencesAzur	Observatoire océanologique de Villefranche-sur-Mer - CNRS, Institut de recherche pour le développement, univ. Nice Sophia-Antipolis, univ. Paris VI) Contact :
✓ COM	Centre d'Océanologie de Marseille CNRS/INSU - Université de la Méditerranée Contact : C. Tamburini
✓ IFREMER, Centre de Toulon/La Seyne-sur-Mer	Contact : V. Rigaud
✓ IFREMER, Centre de Brest	Contact : V. Rigaud
 Russia	
✓ ITEP	Institute for Theoretical and Experimental Physics, Moscow Contact : A. Rostovtsev
✓ Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics	Lomonosov Moscow State University Contact : E. Shirokov
 Spain	
✓ IFIC	Instituto de Física Corpuscular, Valencia Contact : J.-J. Hernandez
✓ Polytechnic University of Valencia	Contact : tbd
✓ Technical University of Catalonia	Laboratory of Applied Bio-Acoustics Contact : M. André
 The Netherlands	
✓ NIKHEF and University of Amsterdam	Contact : M. de Jong
✓ University of Groningen	Contact : N. Kalantar-Nayestanaki

Проект NEMO (с 2005)

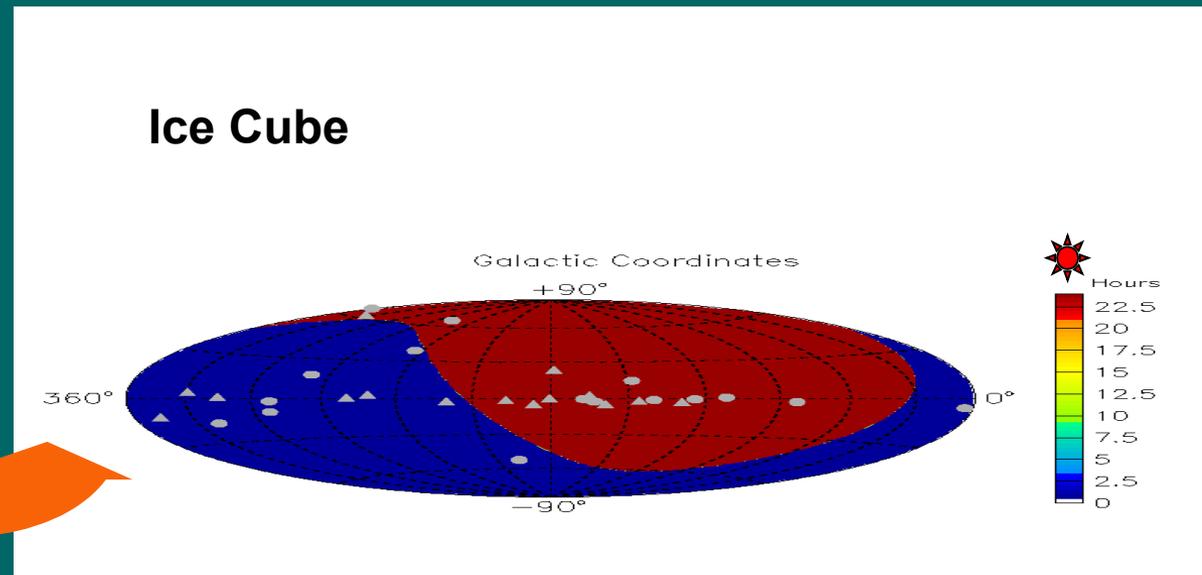
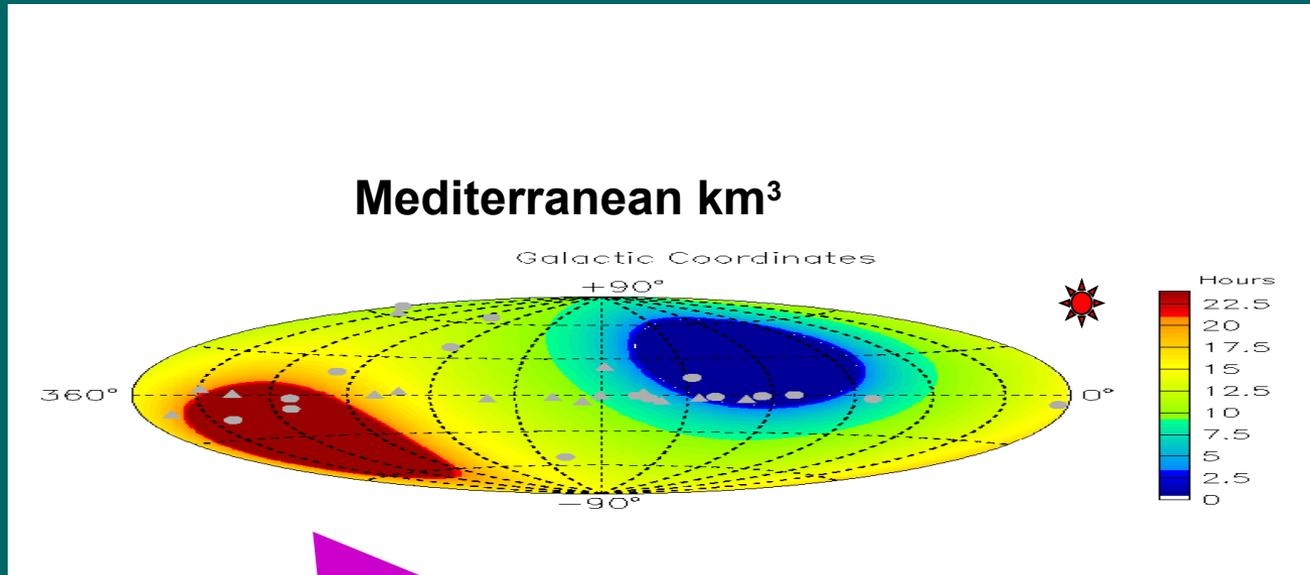




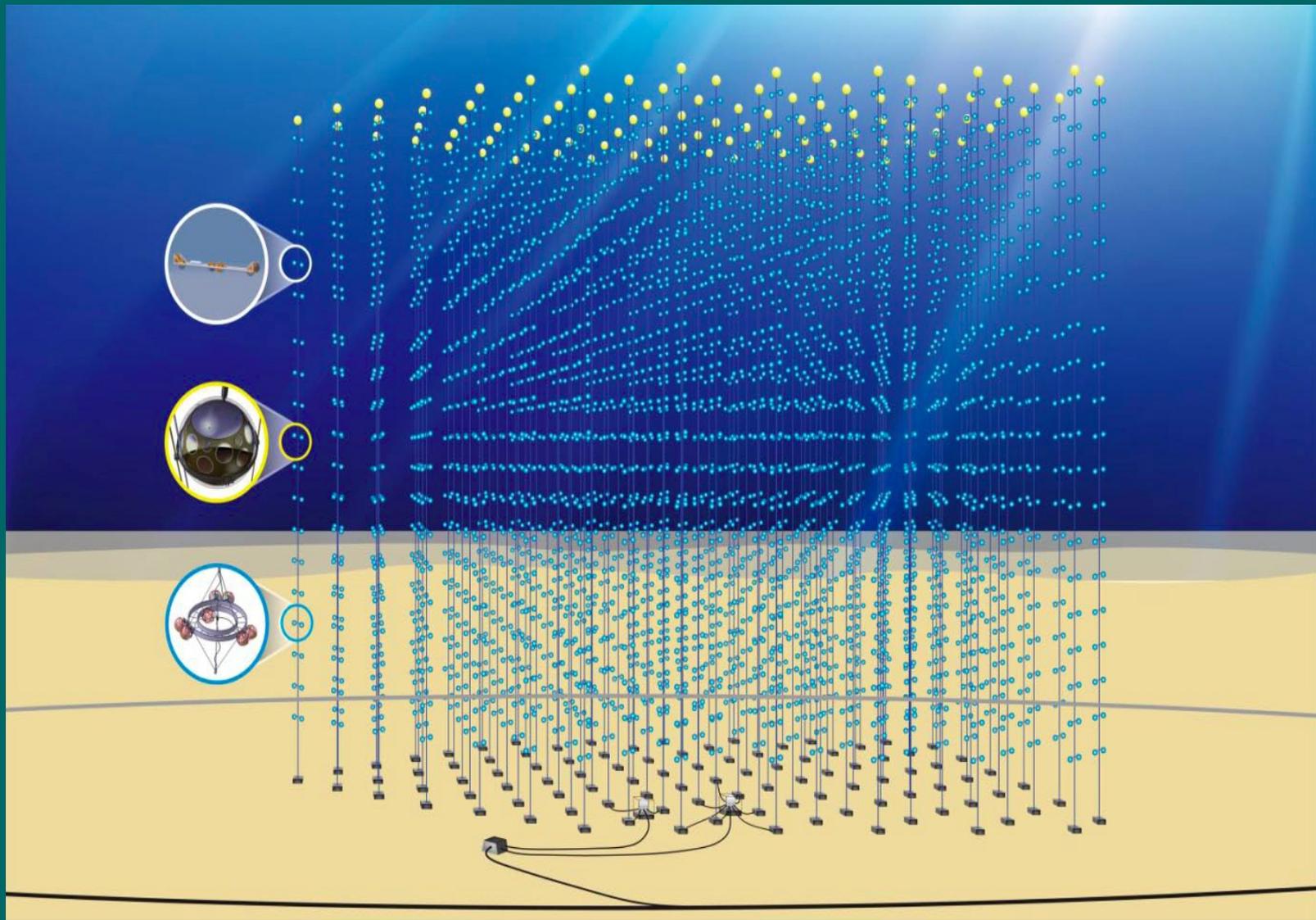
Проект КМЗNet (с 2014 ?)

- Предполагаемые сроки сооружения – 2012-16 гг.
- Предполагаемый объём – 1.2 куб.км
- Предполагаемая стоимость – 40-50 млн.€

Предсказываемое распределение нейтрино



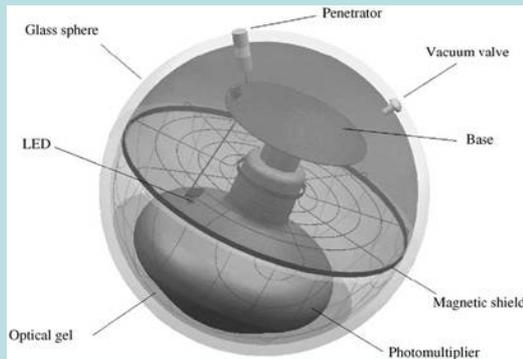
Общий вид детектора



Два типа оптических модулей

Single-PMT Optical Module

8-inch PMT with 35% quantum efficiency
inside a 13 inch glass sphere
Evolution from pilot projects



Multi-PMT Optical Module

31 small PMTs (3-inch) inside a 17 inch
glass sphere



- 31 PMT bases (total ~ 140 mW)
- Cooling shield and stem

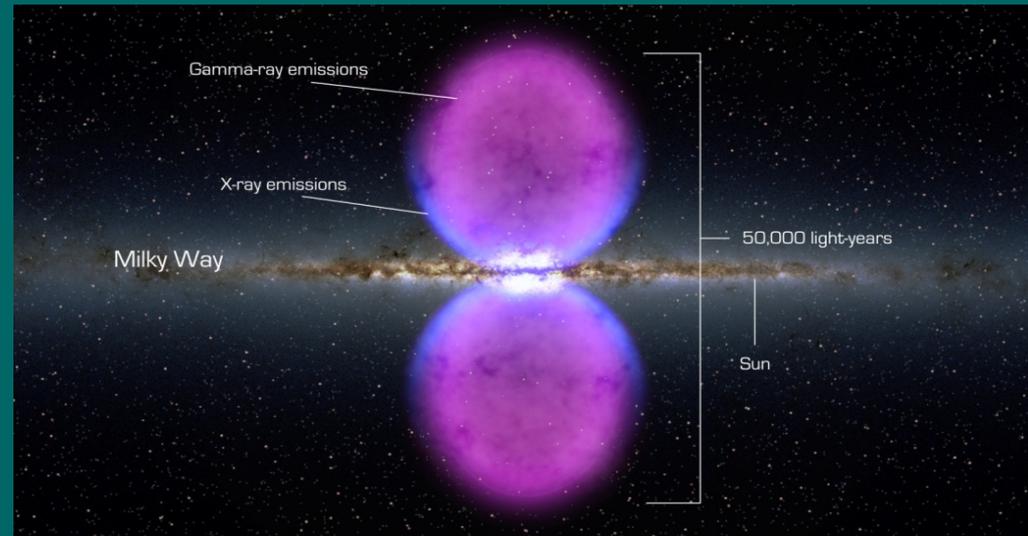


First full prototype
ready at the end of
2010

Нейтрино от Ферми пузырей

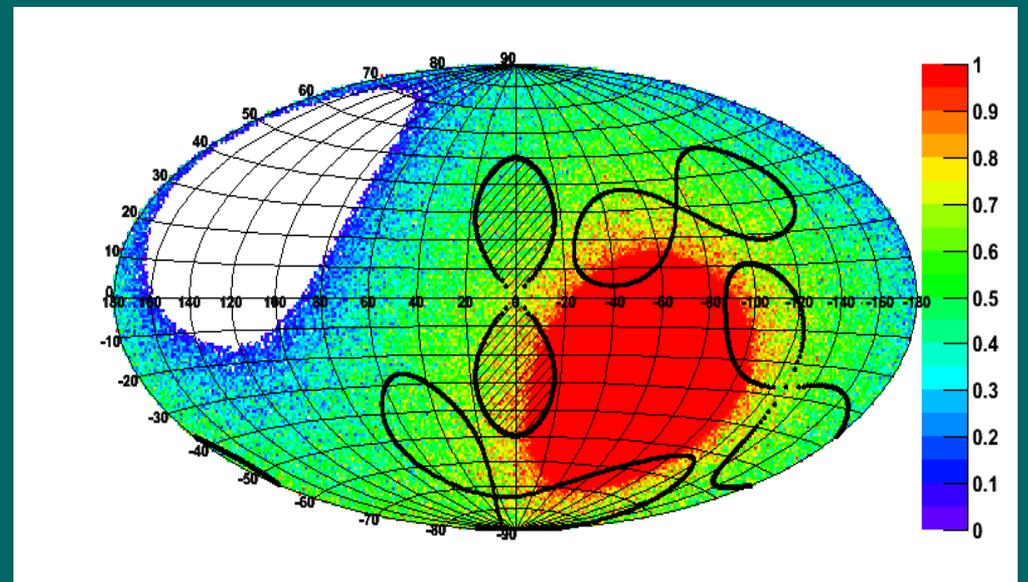
Ферми пузыри (Fermi bubbles):

- Поток гамма излучения
- Однородная интенсивность
- Резкие грани
- E^{-2} спектр (в районе 1 и 100 ГэВ)



Анализ:

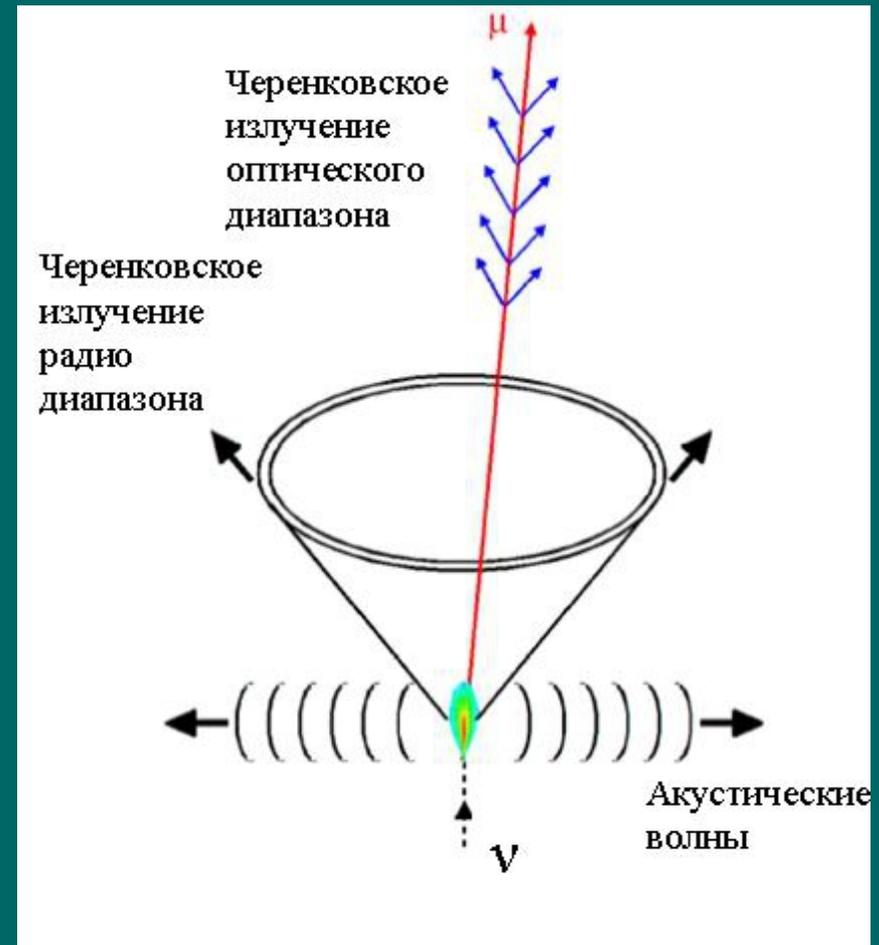
- Сравнение с зонами вне предполагаемого источника
- Зоны одинакового размера с одинаковым ожидаемым фоном
- Оптимизация выбора событий по качеству восстановленного трека и энергии



Галактические координаты

Акустическое детектирование

- Акустическая волна имеет очень большую (до 1 км.) длину распространения в воде (против 30-40 м у мюонов), что создаёт возможность создания телескопов со сверхбольшим (до 100 км³) эффективным регистрирующим объёмом.



Основные направления текущей деятельности научной группы МГУ в средиземноморских нейтринных проектах

- Разработка и создание оптических модулей
- Моделирование и оптимизация конфигурации нейтринных телескопов
- Создание фильтров биолюминисценции
- Разработка критериев достоверности событий
- Анализ экспериментальных данных (ANTARES)
- Разработка алгоритма поиска сверхновых
- Изучение Fermi Bubbles
- Нейтринная гидроакустика (KM3Net)

Благодарю за внимание!