

Современная нейтринная физика



Нобелевская премия по физике



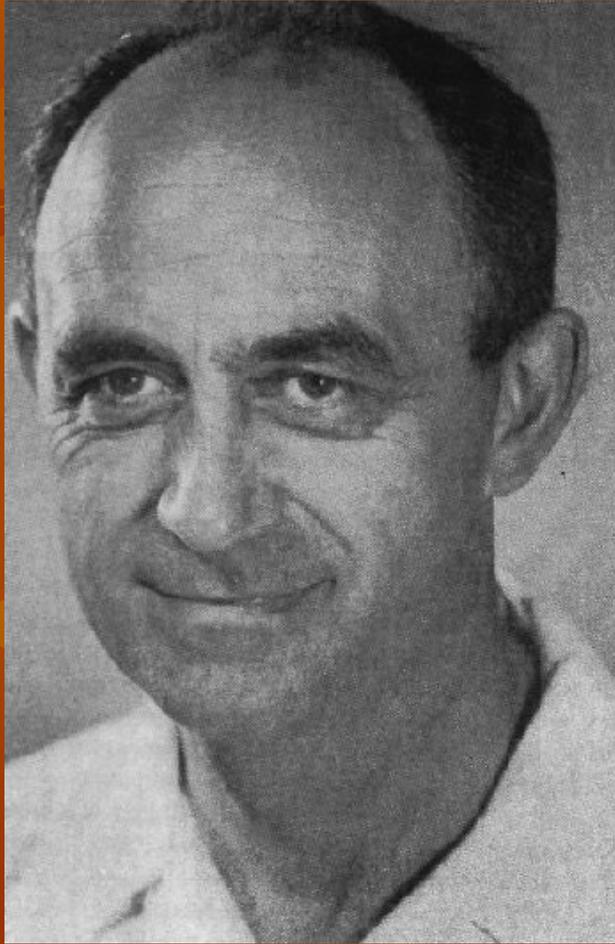
Артур Мак-Дональд



Такааки Кайита

"за открытие нейтринных осцилляций, демонстрирующих наличие массы у нейтрино"

Гипотеза нейтрино (1930 г.)



Энрико Ферми



Вольфганг Паули

Регистрация (анти)нейтрино (1956 г.)



Ф.Райнес (Нобелевская премия 1995 г.)

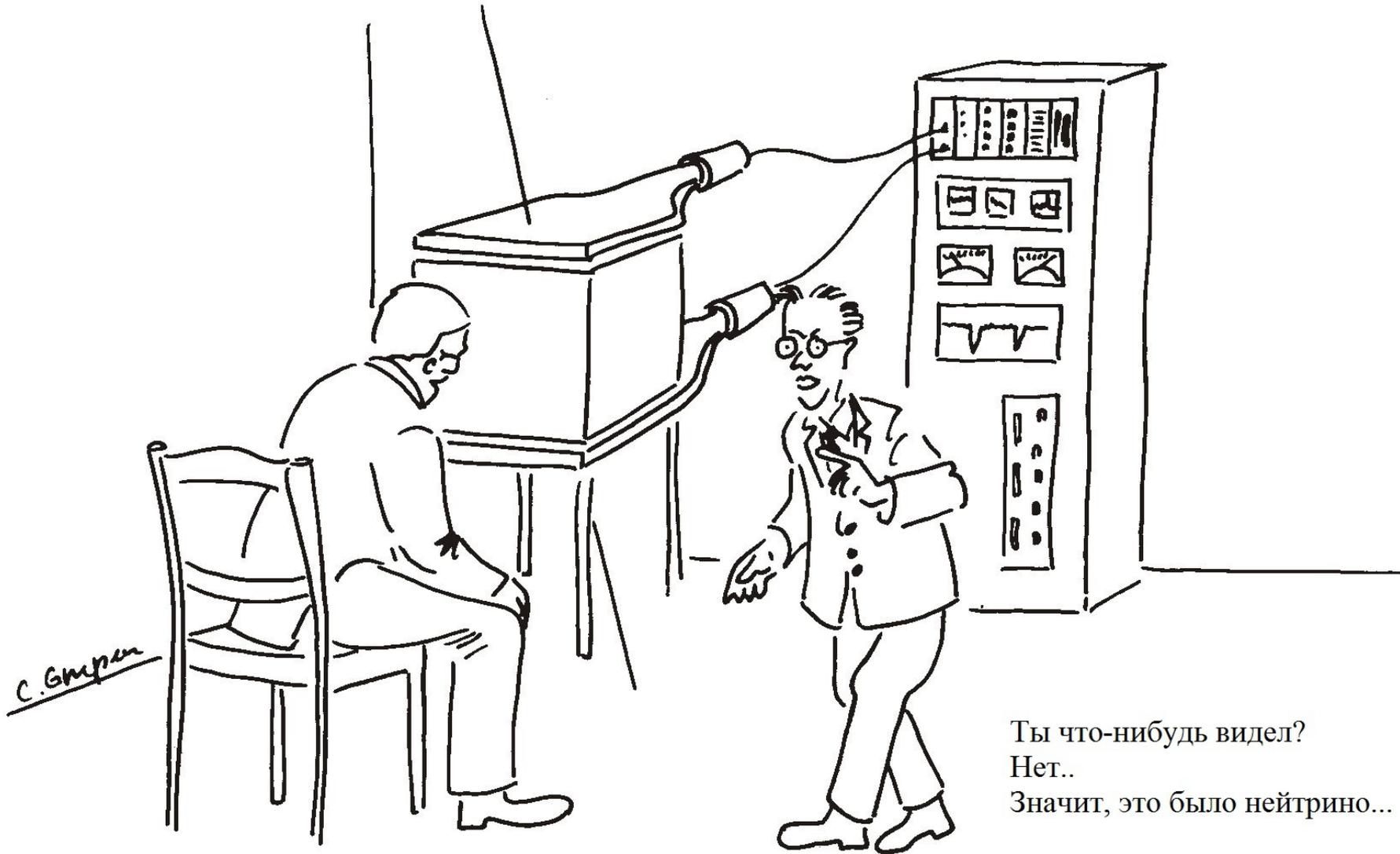


К.Коуэн

«Ароматы» нейтрино

- $n \rightarrow p + e^{-} + \nu_e$
- $\mu^{-} \rightarrow e^{-} + \nu_{\mu} + \nu_e$ (1962 г.)
- $\tau^{-} \rightarrow \mu^{-} + \nu_{\tau} + \nu_{\mu}$ (1975 г.)

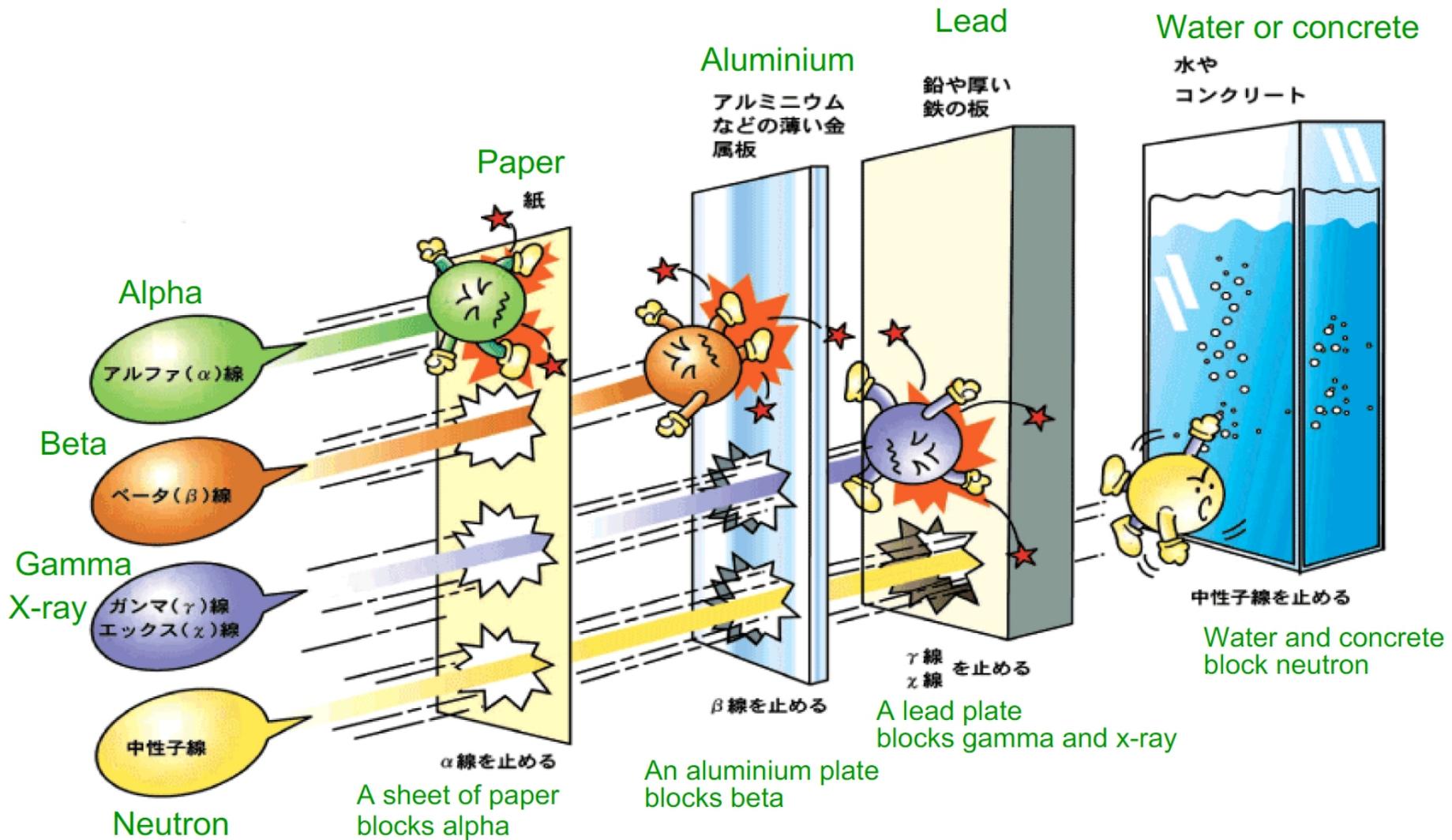




Ты что-нибудь видел?
Нет..
Значит, это было нейтрино...

фундаментальные взаимодействия:

тип взаимодействия	величина константы G	расстояние r, см
1. Сильное (ядерное)	1	$\sim 10^{-13}$
2. Электромагнитное	1/137	$\sim \infty$
3. Слабое	10^{-6}	$\sim 10^{-13}$
4. Гравитационное	10^{-39}	$\sim \infty$



Muon Spectrometer

Muon

Neutrino

Hadronic Calorimeter

Proton

Neutron

The dashed tracks are invisible to the detector

Electromagnetic Calorimeter

Photon

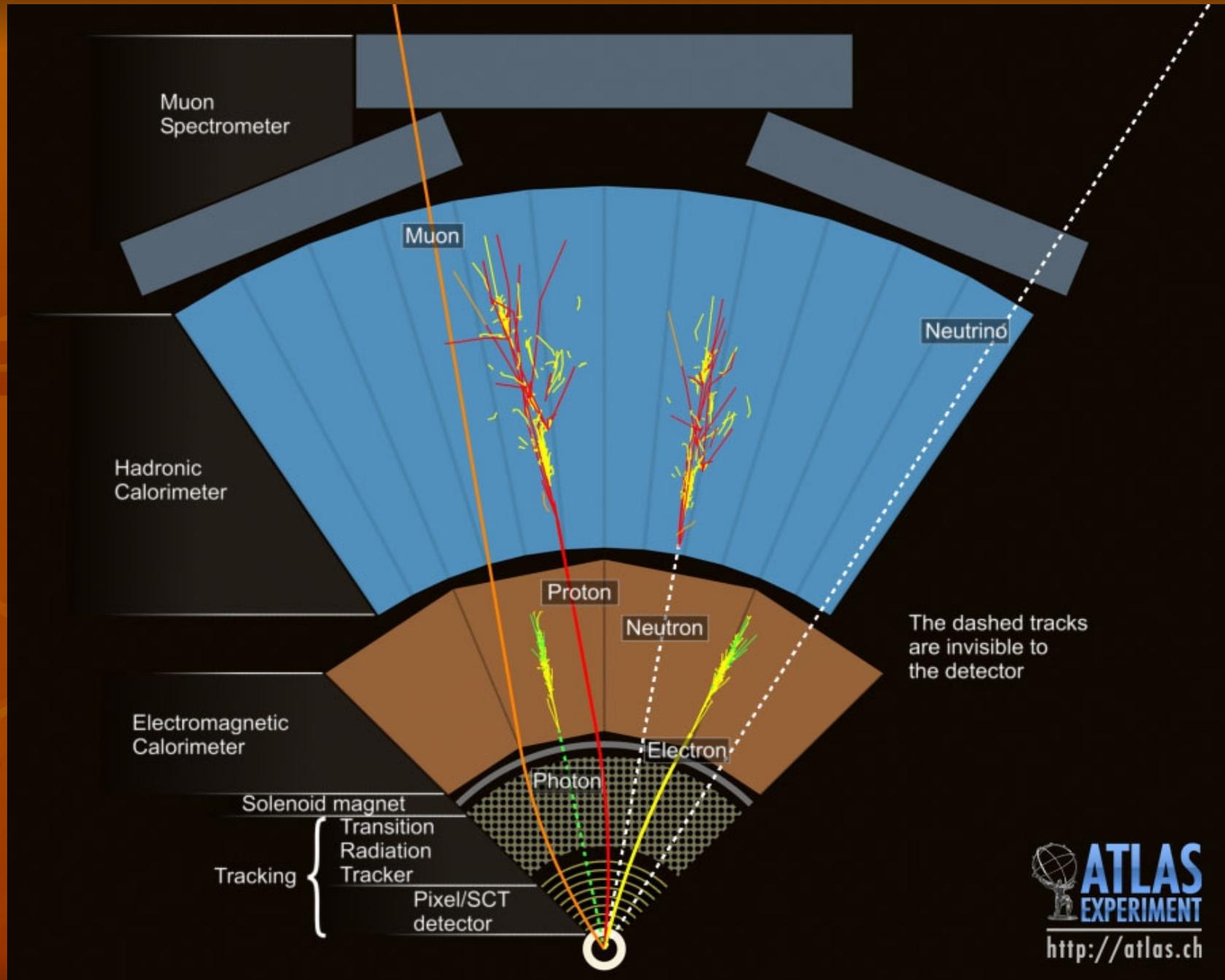
Electron

Solenoid magnet

Tracking

Transition Radiation Tracker

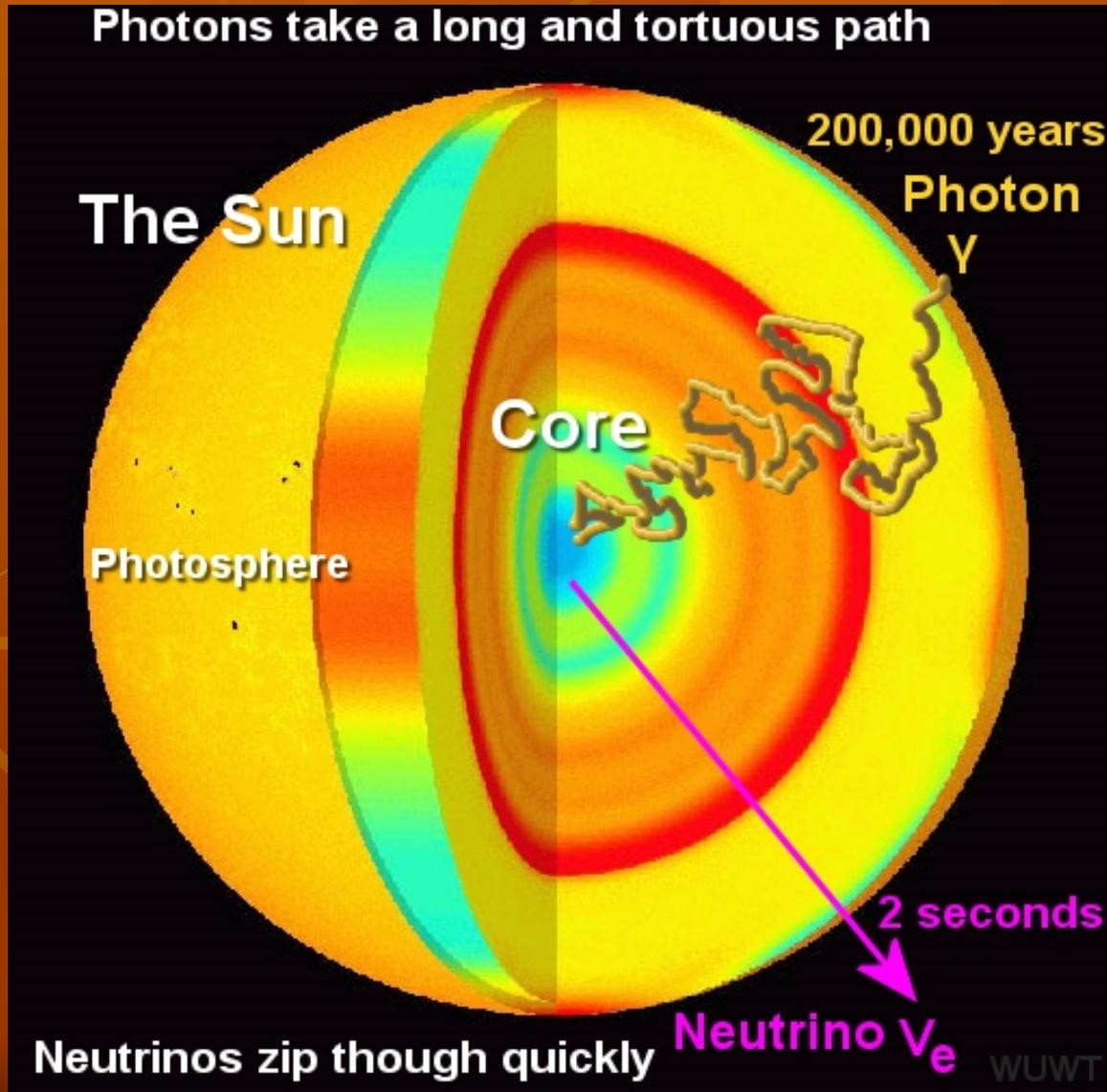
Pixel/SCT detector



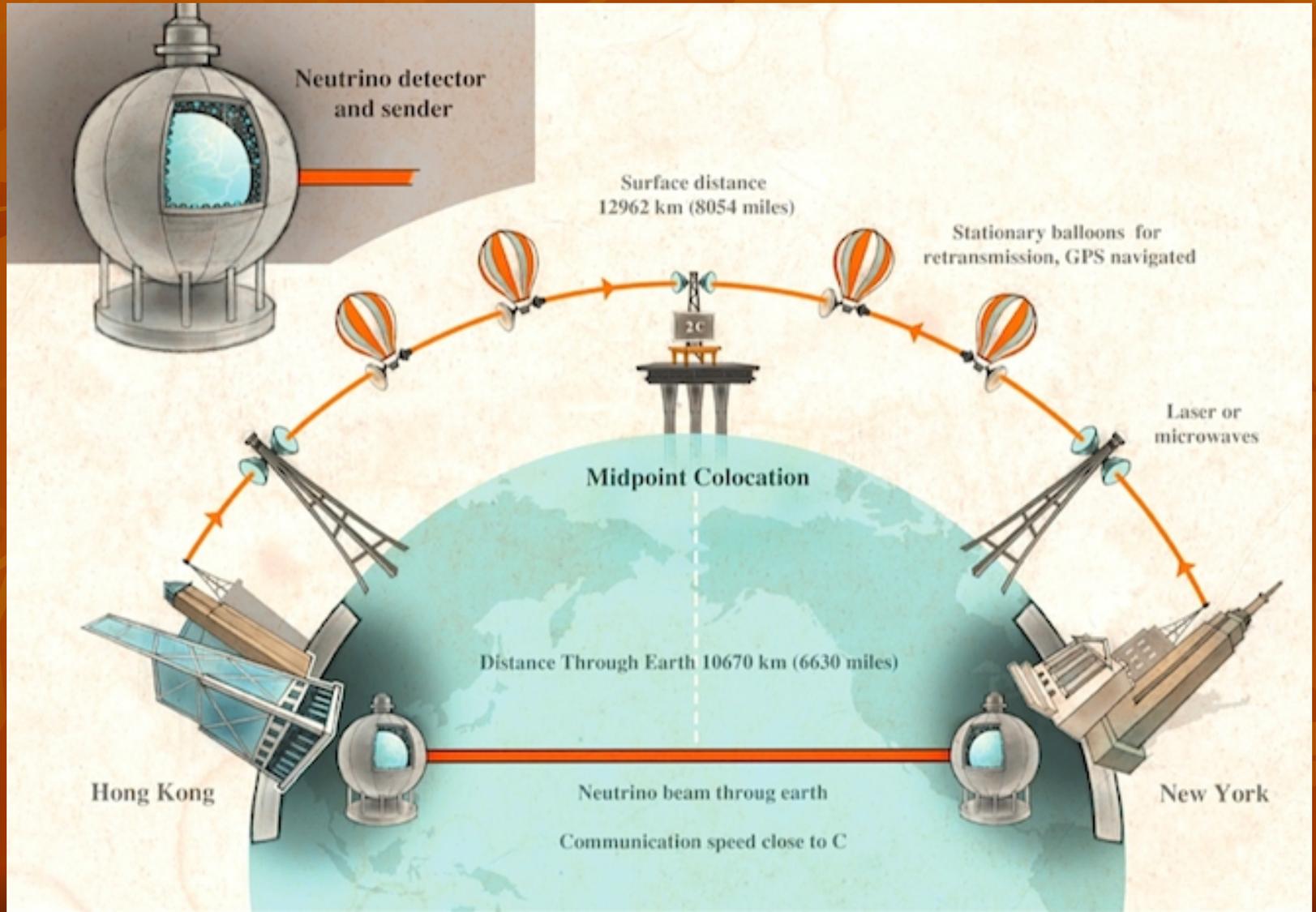
Главная особенность

- Чрезвычайно малая вероятность взаимодействия с веществом. Нейтрино способно проходить в относительно плотной среде космические расстояния, не взаимодействуя.

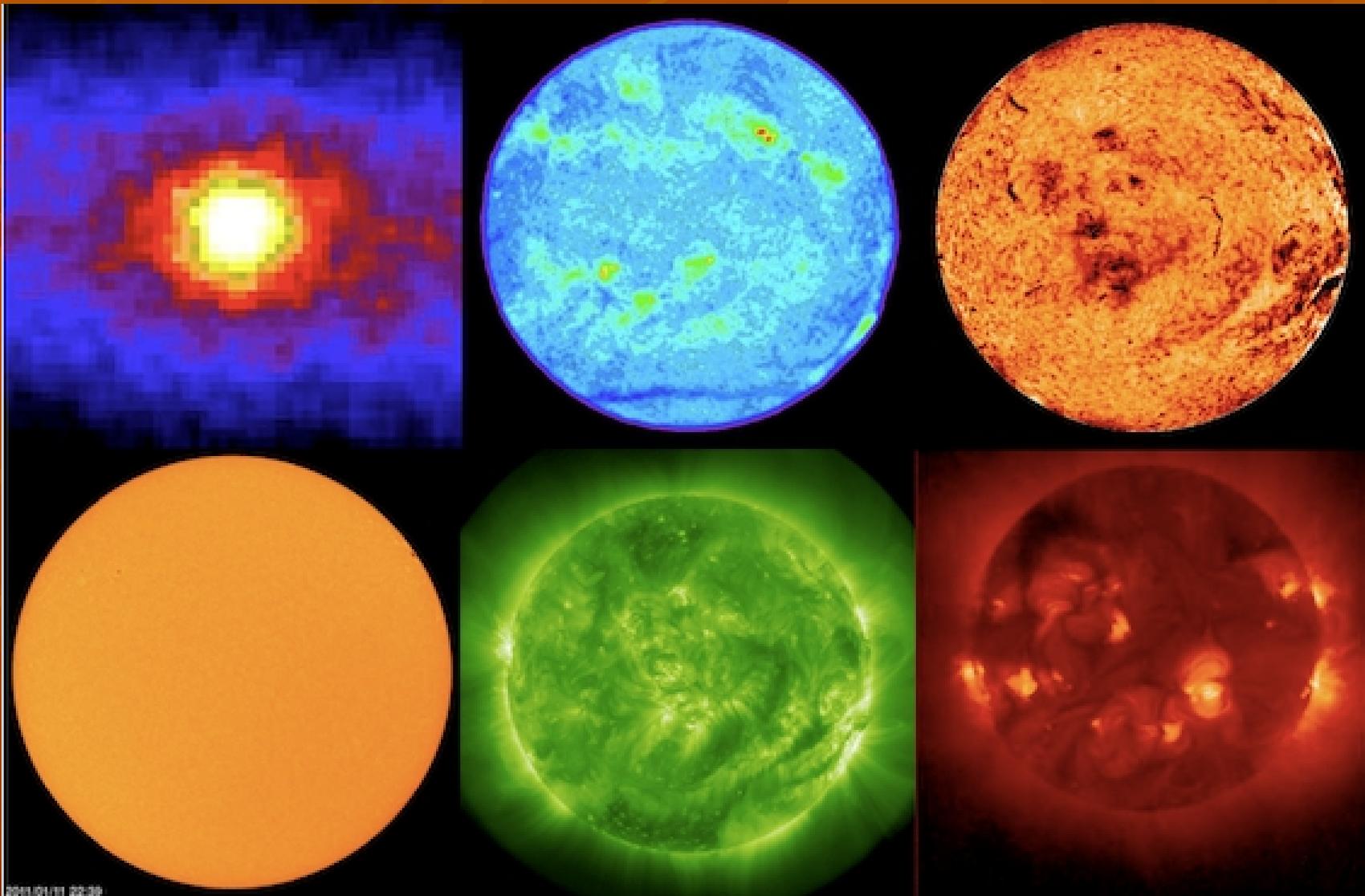
Исследование Солнца



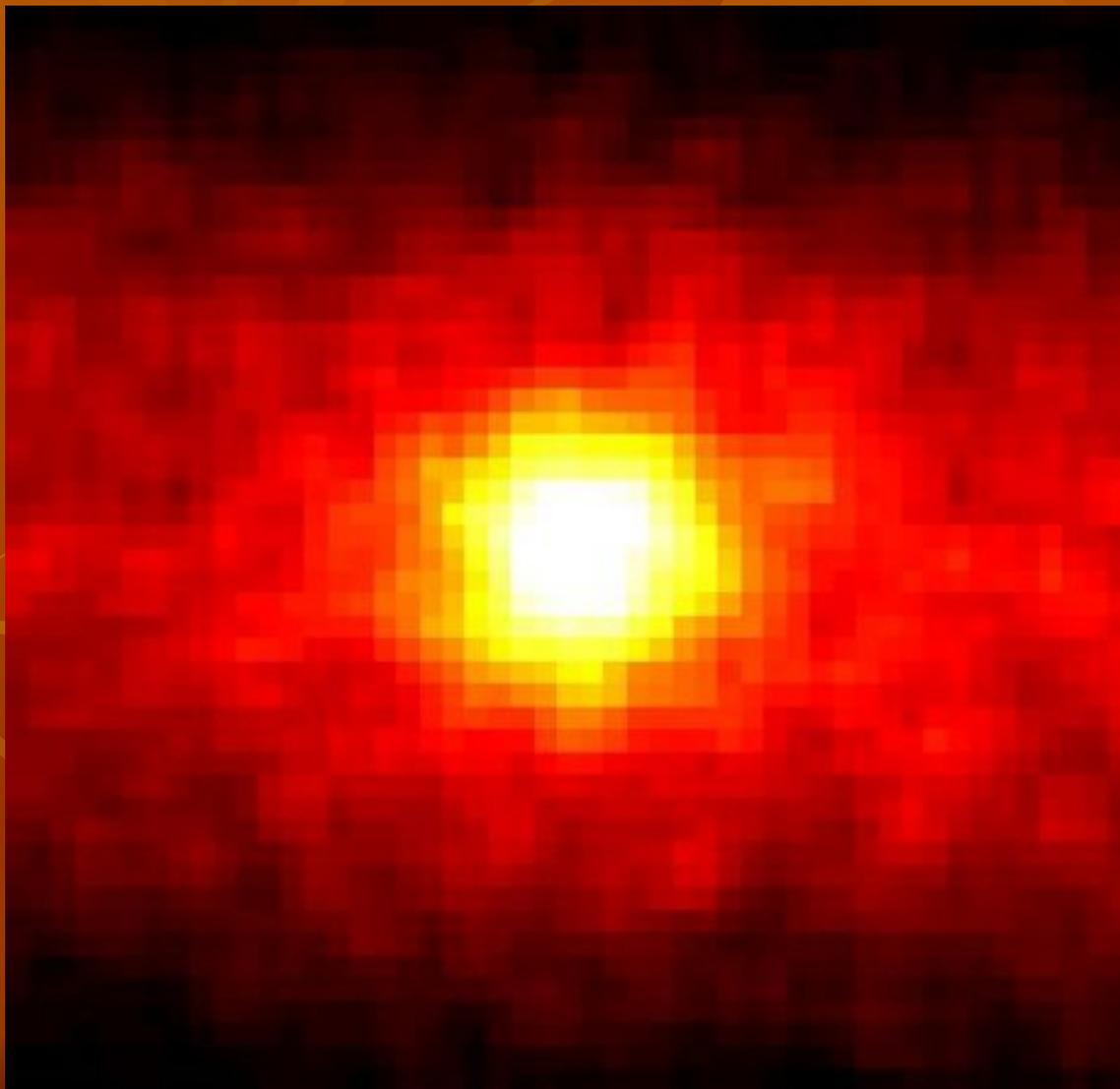
Средство связи?



Солнечные «портреты»



Солнце в «нейтринном свете»





Большое количество
данных

Малое количество
данных



Основные направления в экспериментальной физике нейтрино

- Масса нейтрино
- Нейтринные осцилляции
- Эффективная регистрация
нейтрино для всех диапазонов
энергии

Нейтринные осцилляции

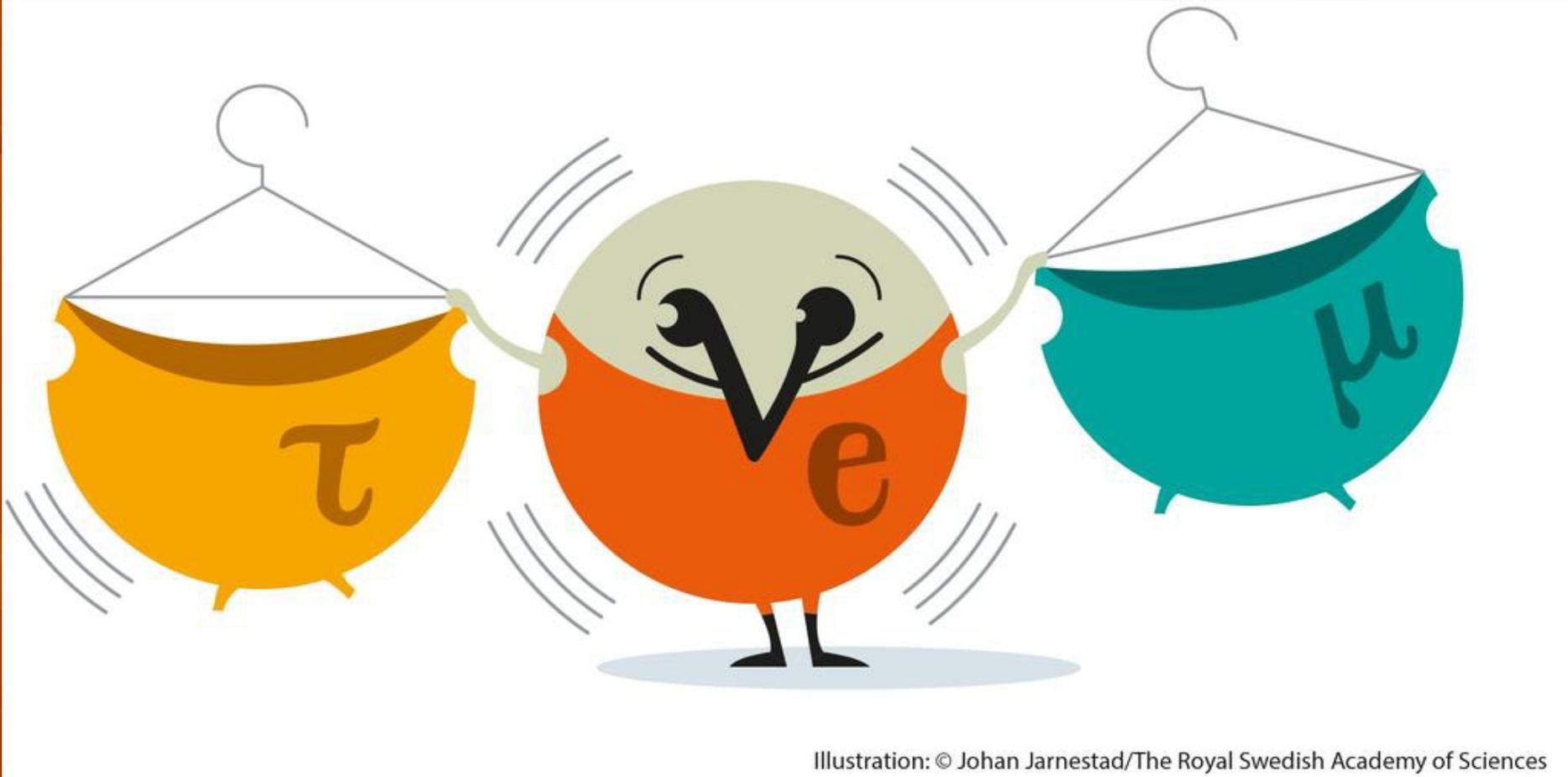
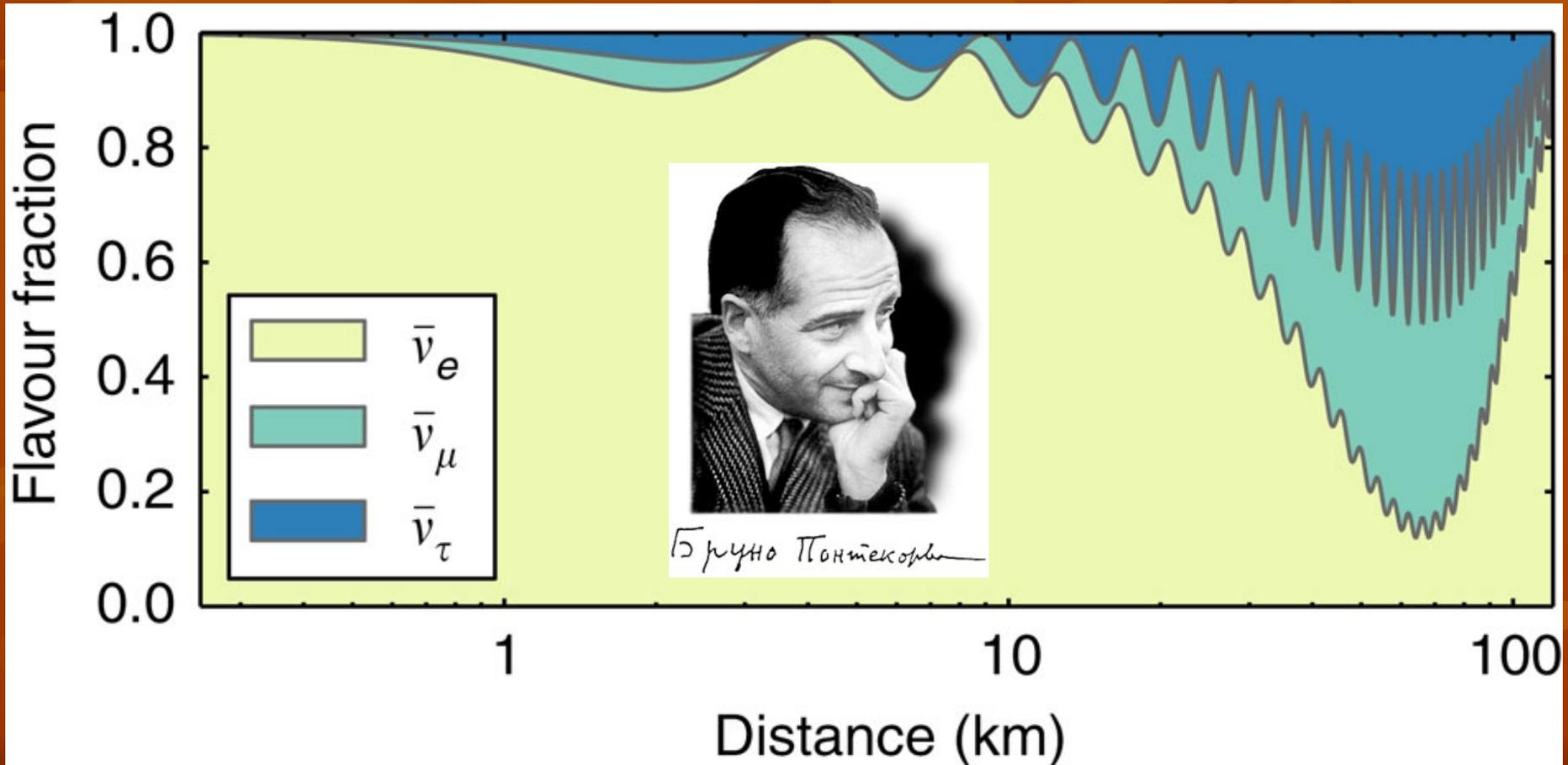


Illustration: © Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences

Нейтринные осцилляции



Эксперимент NOvA (результаты 2014-15 гг.)

NOvA

A broad physics scope

Using $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$, $\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e$...

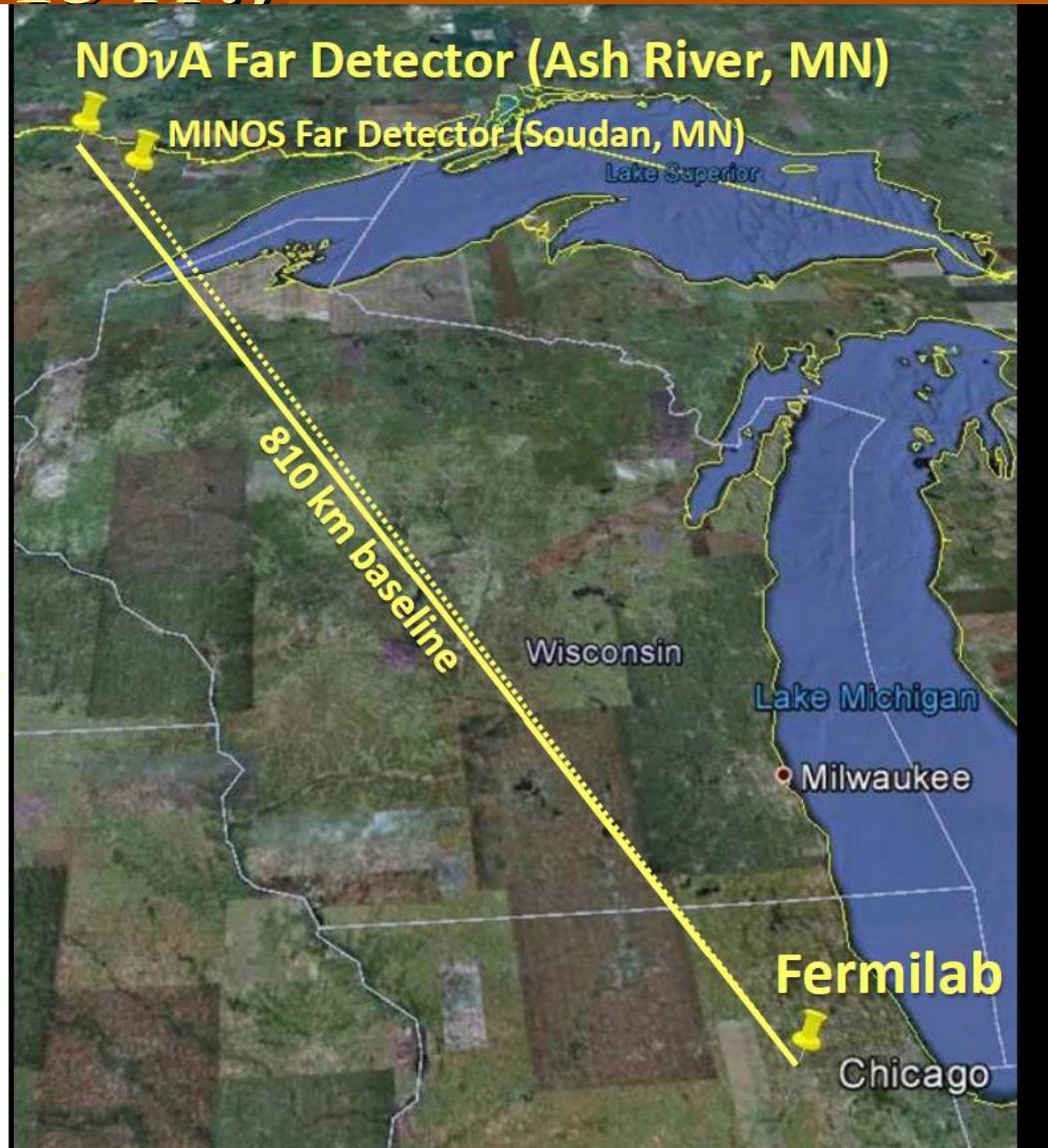
- Determine the ν mass hierarchy
- Determine the θ_{23} octant
- Constrain δ_{CP}

Using $\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu$, $\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_\mu$...

- Precision measurements of $\sin^2 2\theta_{23}$ and Δm_{32}^2 .
(Exclude $\theta_{23} = \pi/4$?)
- **Over-constrain** the atmos. sector
(four oscillation channels)

Also ...

- Neutrino cross sections at the NOvA Near Detector
- Sterile neutrinos
- Supernova neutrinos
- Other exotica



Эксперимент NOvA (результаты 2014-15 гг.)

Far Detector selected events

LID: 6 ν_e candidates

3.3 σ significance for ν_e appearance

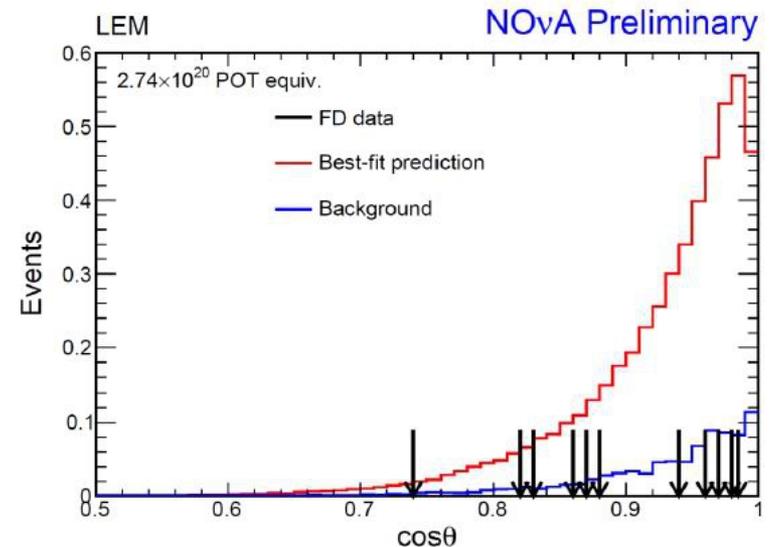
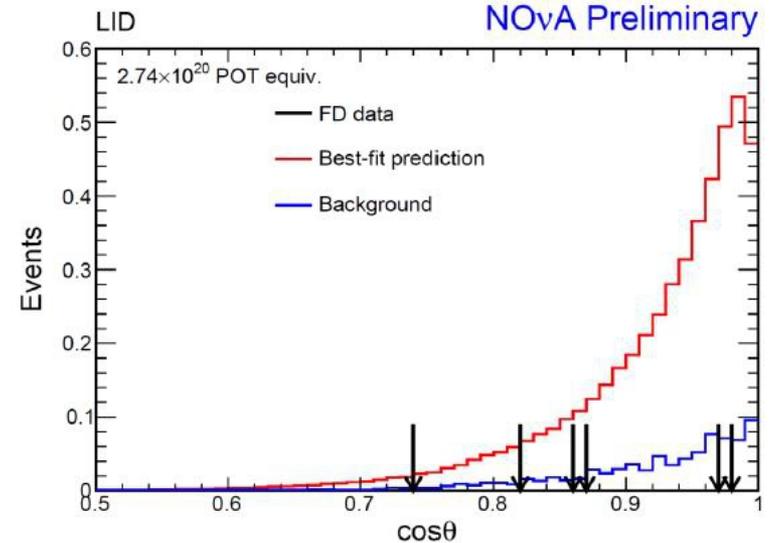
At right:

Reconstructed direction
of leading shower

LEM: 11 ν_e candidates

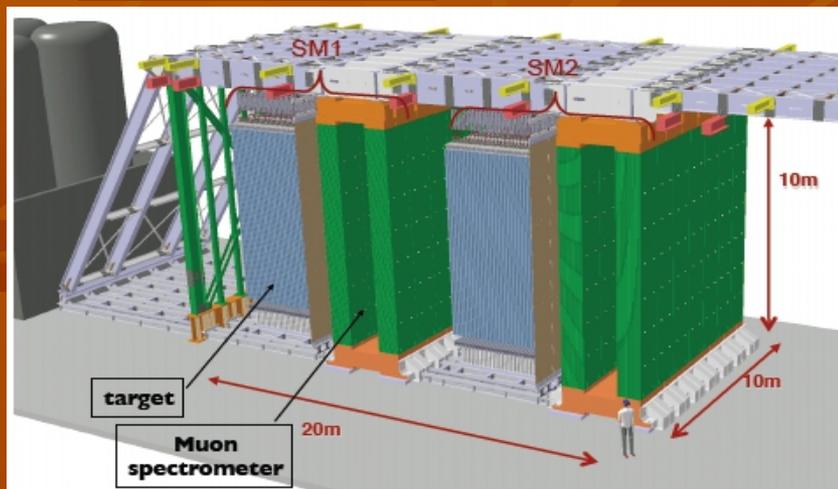
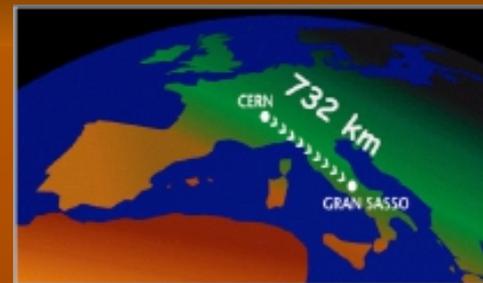
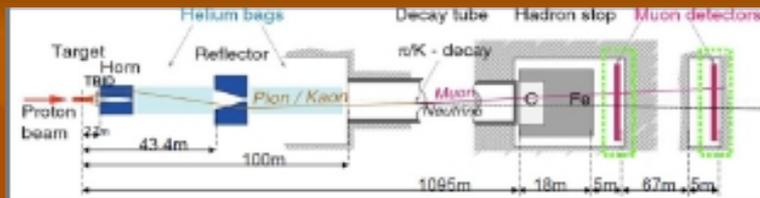
5.5 σ significance for ν_e appearance

(All 6 LID events present in LEM set)



OPERA

Цель: $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$

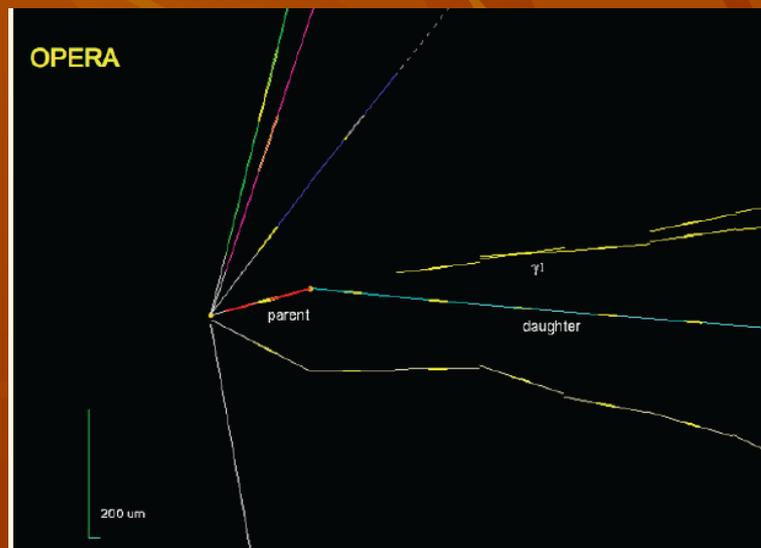
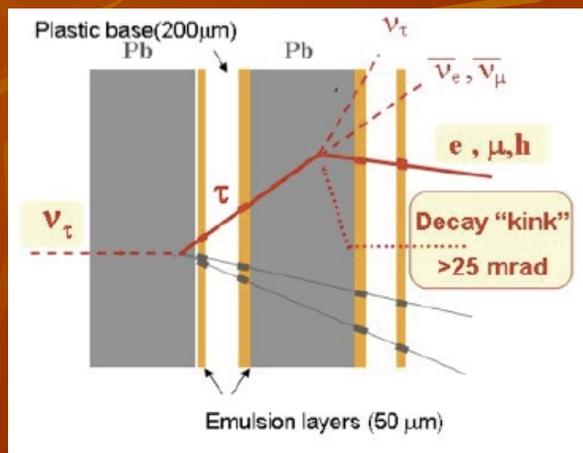


Hybrid Detector:

- Two supermodules - Target Mass ~1.8 ktons
- 2 Magnetic spectrometers with RPC & Drift tubes
- 2 x [31 Target Tracker planes and Target Walls]
- ~200000 "ECC bricks" (56 Pb/Emulsion layers)
- 12 M Emulsion plates (thin double-coated)

OPERA Collab., arXiv:1006.1623 [hep-ex]

target: lead/emulsion bricks



First candidate $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ $\tau^- \rightarrow \pi^- + \pi^0$

Исследование солнечных нейтрино



Реакторные эксперименты

Experimental Setup...

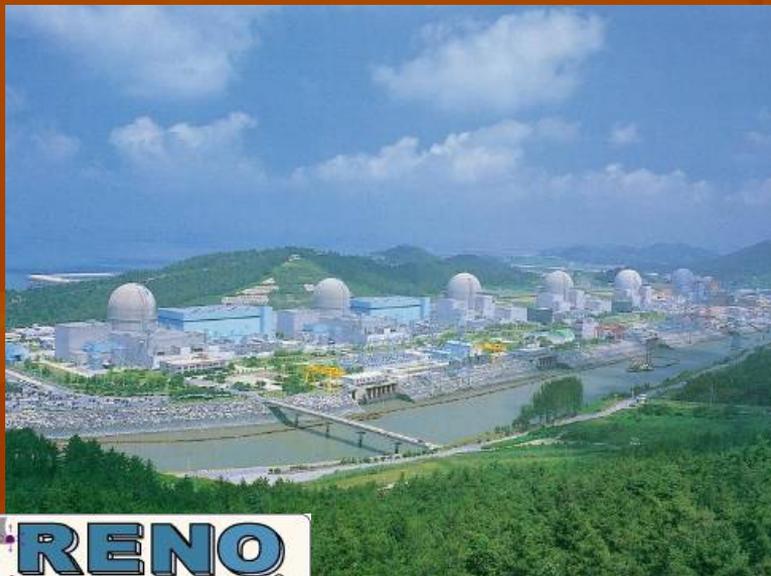
DOUBLE

Chooz Reactors
Power: 8.5GW_{th}

Near
<L> 400m
400v/day
120mwe
Target: 8.2t
Sept 2012

Far
<L> 1050m
50v/day
300mwe
Target: 8.2t
Dec. 2010

Exp't	Power (GW)	Distance N/F (m)	Target N/F (t)
Double Chooz	8.6	400/1050	8.2/8.2
RENO	17.3	290/1380	16/16
Daya Bay	11.6 (17.4)	360(500)/ 1990(1620)	2x40/80



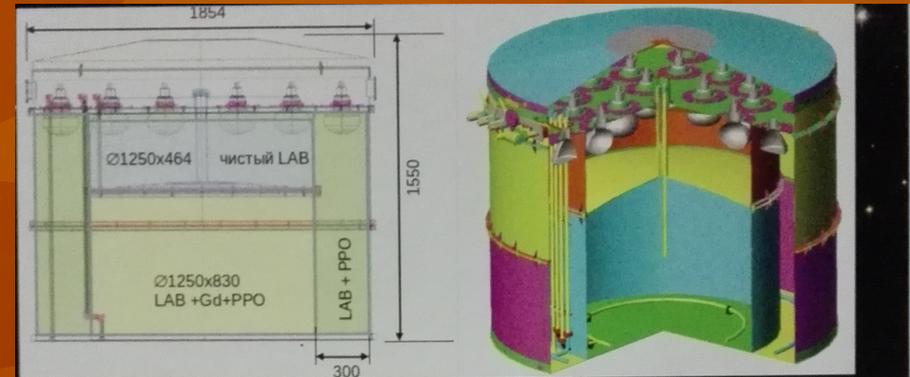
RENO
v θ_{13}



Daya Bay
13

Проект iDREAM

- Создаётся научными группами НИЯУ МИФИ и НИИЯФ МГУ



industrial
Detector
REactor
Antineutrino
Monitoring

Статус работ на май 2014 года:
ведутся работы по физическому
пуску детектора

Астрофизические нейтрино как источник информации

I. Активные ядра галактик и гамма-всплески (GRB) – чрезвычайно мощные источники частиц и излучений во Вселенной

Источник частиц и излучений

Протоны высоких энергий

II. Протоны отклоняются мощными ЭМ полями галактик и взаимодействуют с источниками ЭМ излучений

нейтрино

IV. Только нейтрино могут проникать из самых удалённых частей Вселенной

Гамма-кванты высоких энергий

Отклонение низкоэнергичных протонов

III. Гамма-кванты взаимодействуют с космическим фоном



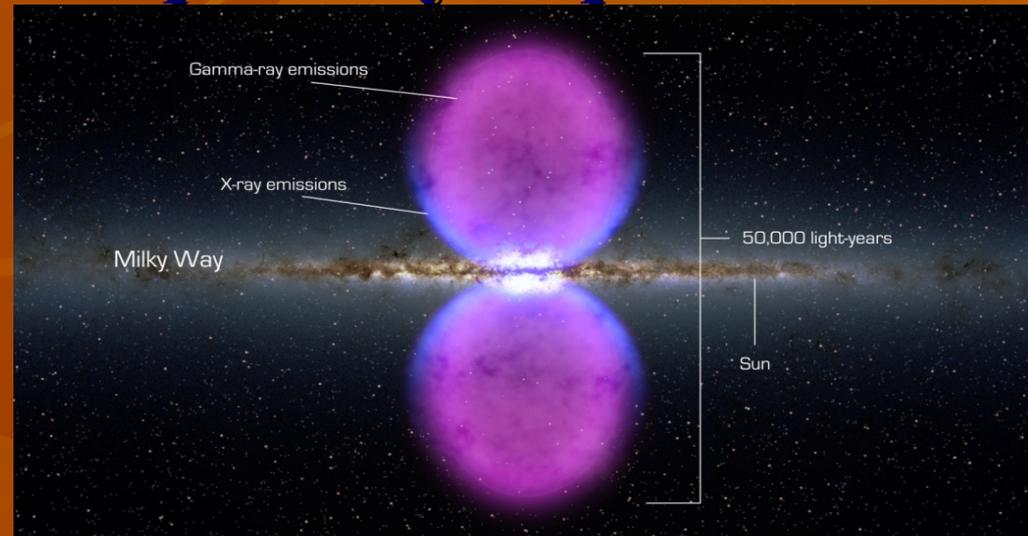
Черенковский метод регистрации нейтрино



Нейтрино от Ферми пузырей

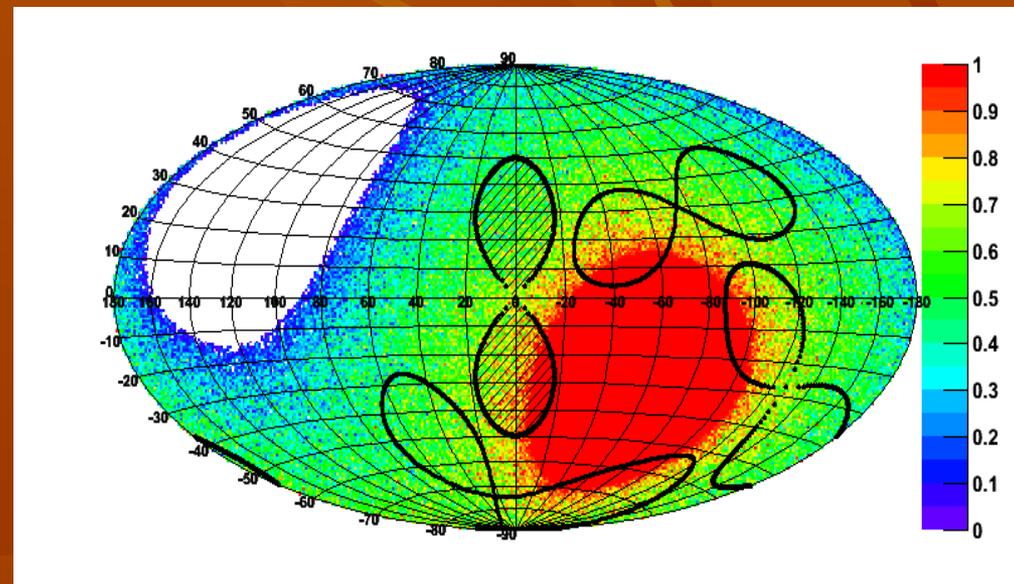
Ферми пузыри (Fermi bubbles):

- 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



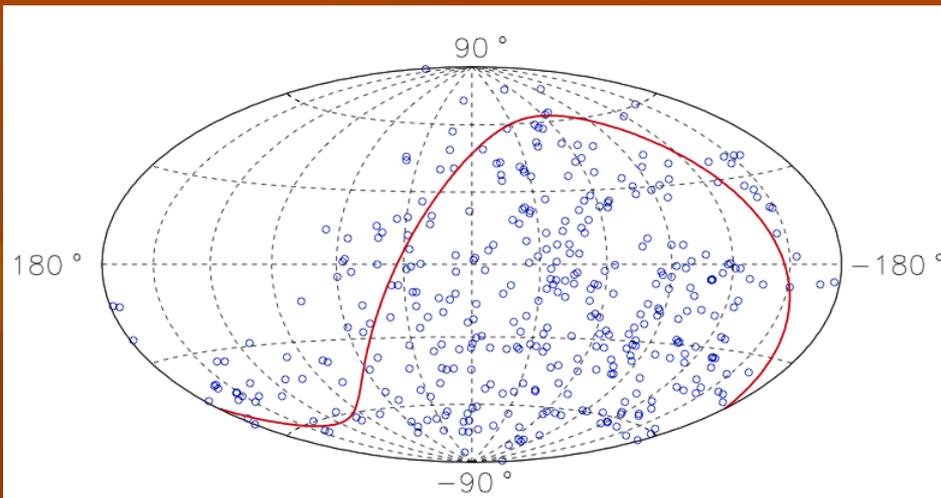
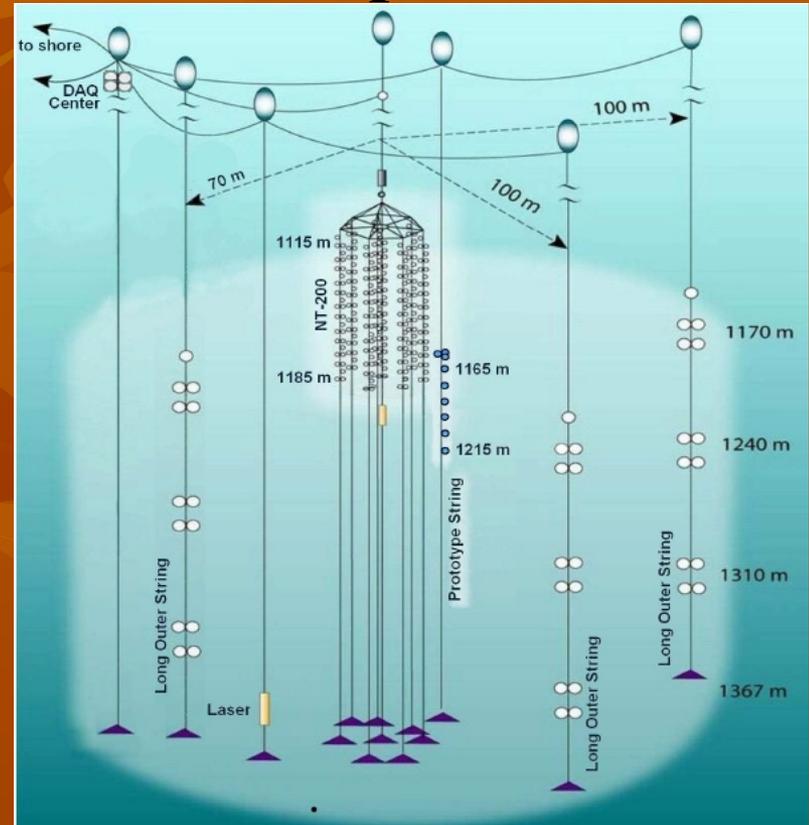
Галактические координаты

Текущая ситуация

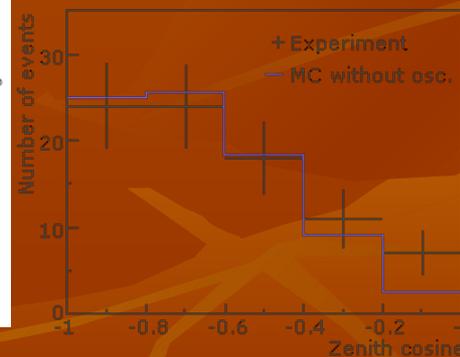
- IceCube (1 куб.км), Южный полюс
- ANTARES (0.09 куб.км) Тулон, Средиземное море
- Байкальский телескоп (0.03 куб.км) Байкал, Россия
- KM3Net (1.2 куб.км) Capo Passero (?)
- NEMO (??)

Байкальский нейтринный детектор

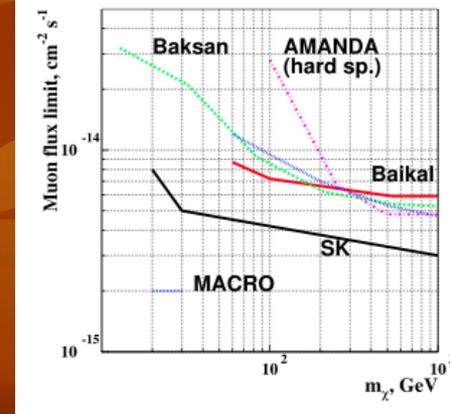
- глубина - 1100-1200 м
- 192 ФЭУ (8 струн)
- с 1998 г. - сбор данных
- атмосферные мюоны (1 млн в день)
- атмосферные нейтрино (1 в два дня)
- 2005 NT200+ (3 новых струны)
- Планируется расширение GVD



5 лет работы



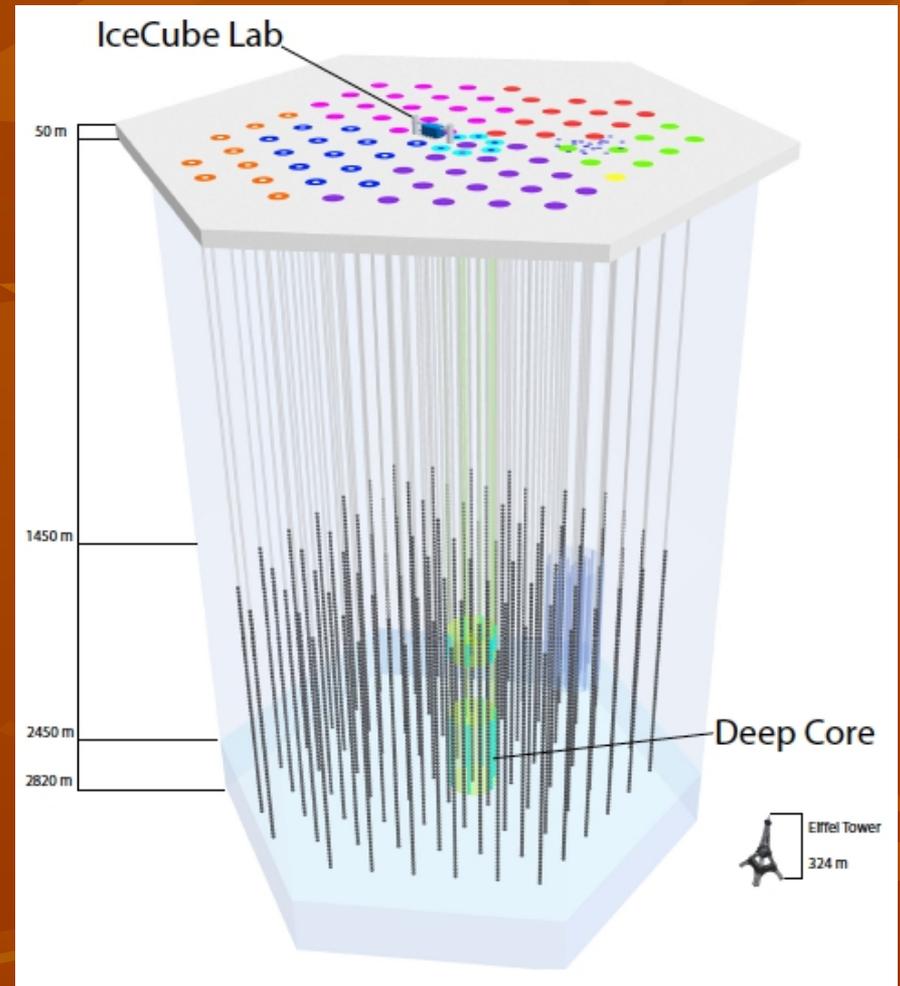
осцилляции



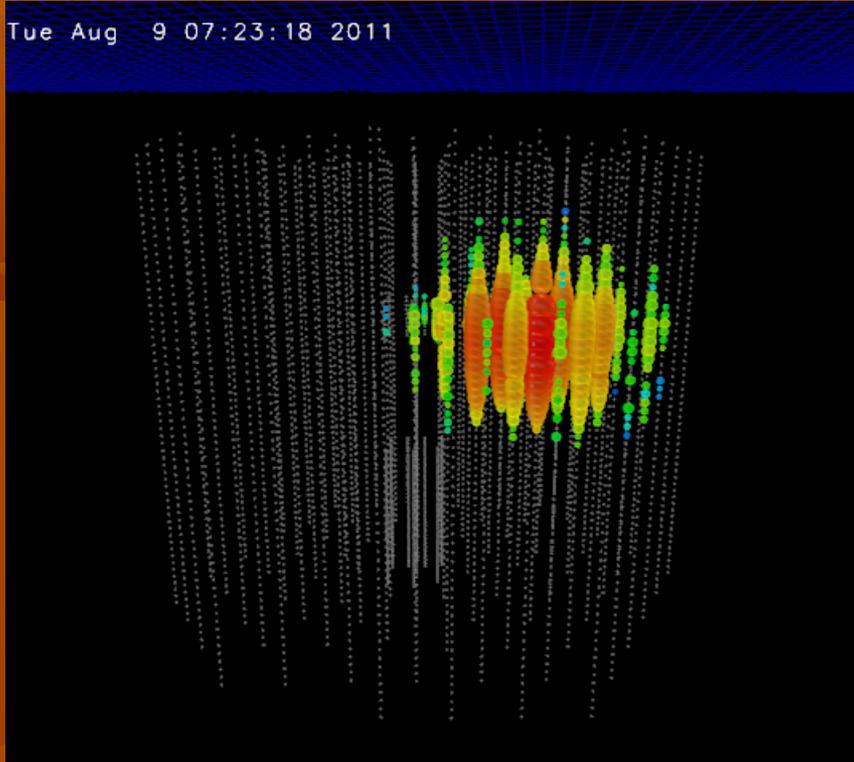
WIMP из Земли

Ice Cube

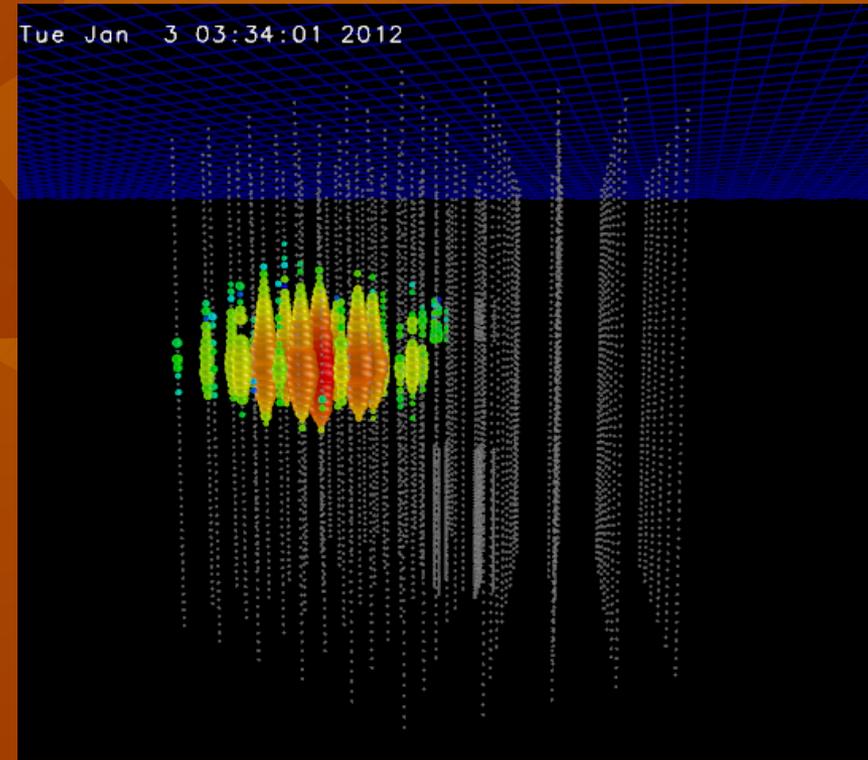
- 5160 ФЭУ
- 1 км³
- 86 струн
- 17 м между ФЭУ
- 120 м между струнами
- ~1° угл. разрешение
- 2010 – полная комплектация



2 события



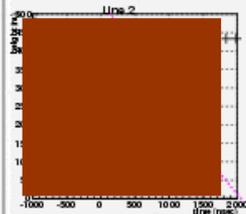
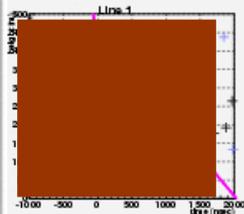
- «Берт»
~1050 ТэВ



- «Эрни»
~1150 ТэВ

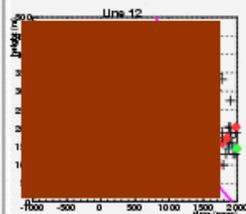
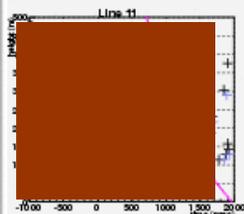
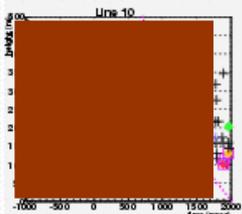
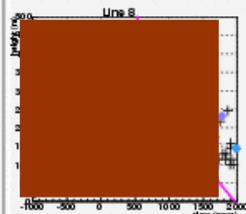
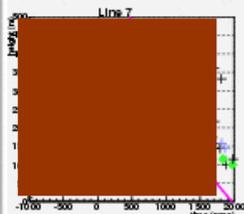
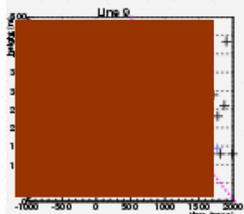
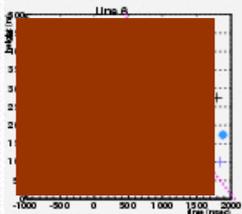
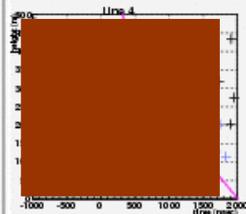
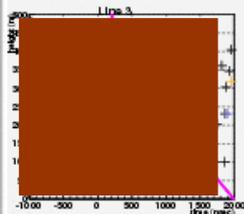
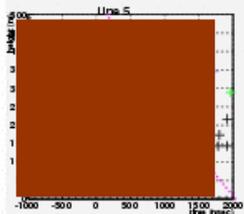
Мюон (12/12 линий)

Zenith : 144.3
Fit on 11 line(s)

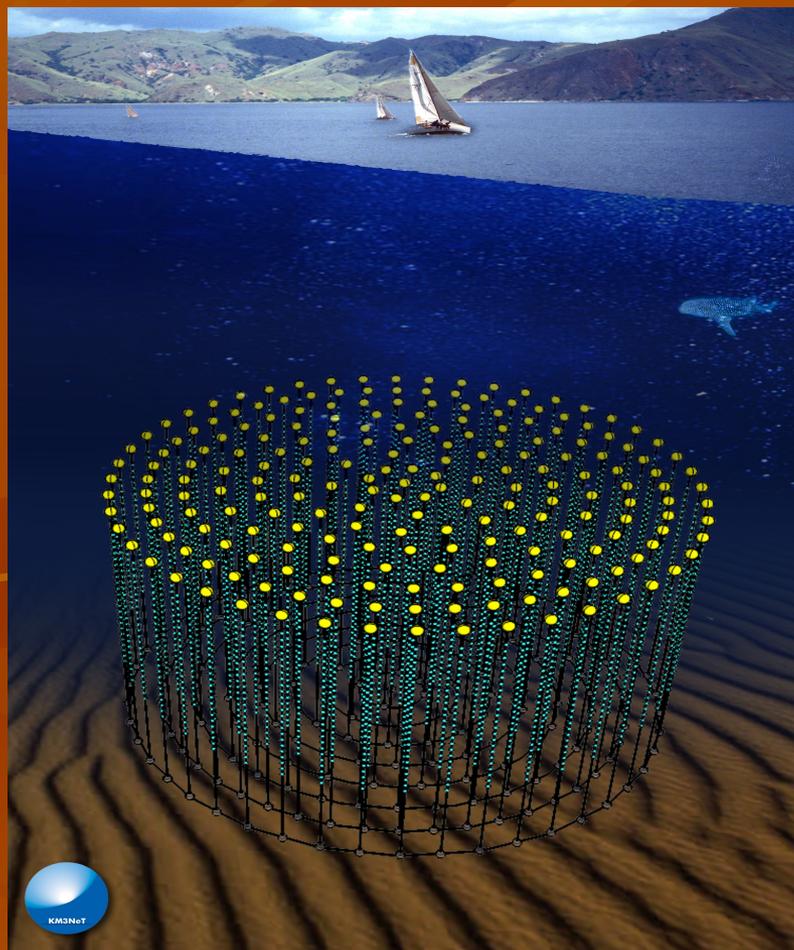


Run 34497 Frame 40952
Mon Jun 2 03:30:15 2008
Trigger bits 80002020
Line 1 - 12 Physics Trigger (t

1 2 3 4 5 6 photons
● ● ● ● ● ●



Проект KM3Net



Расположение



Antares (1/50 km³)
Toulon, France
-2475 m

Nemo
Capo Passero, Italy
-3500 m

Проект КМЗNet

- Предполагаемые сроки сооружения – 2014-20 гг.
- Предполагаемый объём – 1.2-1.4 куб.км
- Предполагаемая стоимость – 50-70 млн.€

Проект KM3Net



Проект KM3Net



Дополнительная информация

- «От кварка до квазара»

<http://space.msu.ru>

http://vk.com/quark_quasar

Благодарю за внимание!