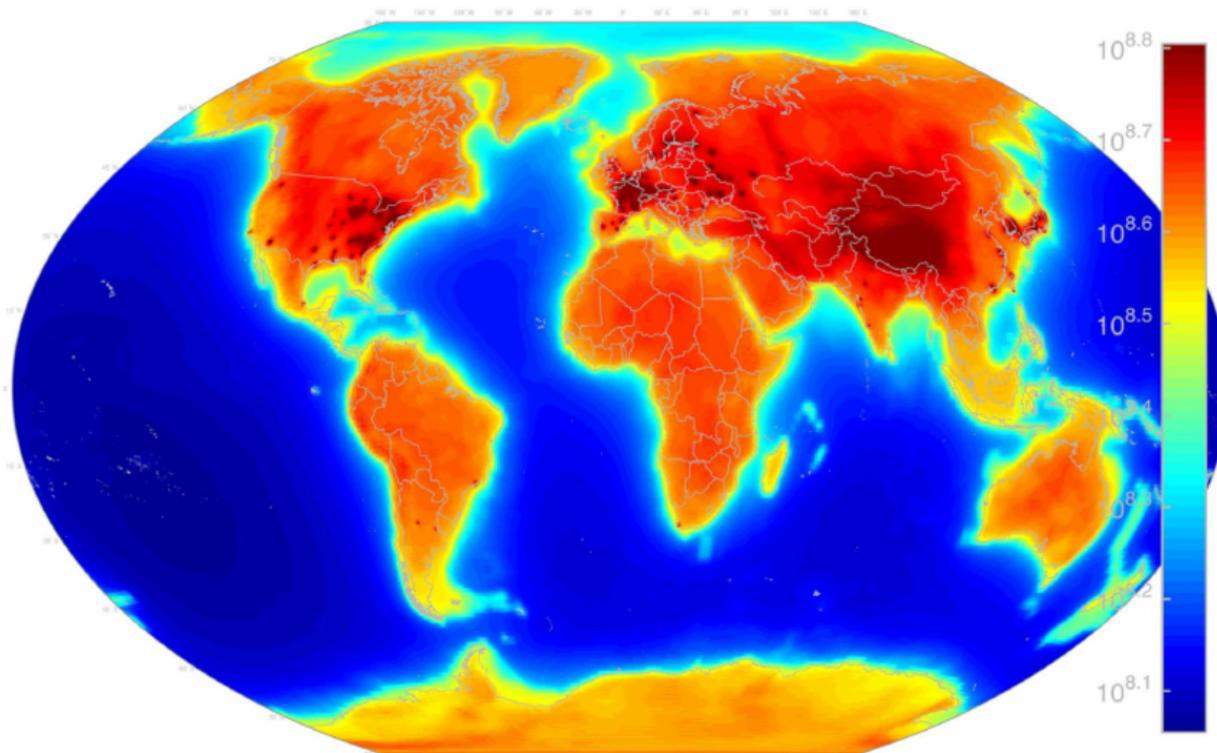


Фон от реакторов при регистрации геонейтрино



Безруков Л.Б., Синев В.В., Карпиков И.С.

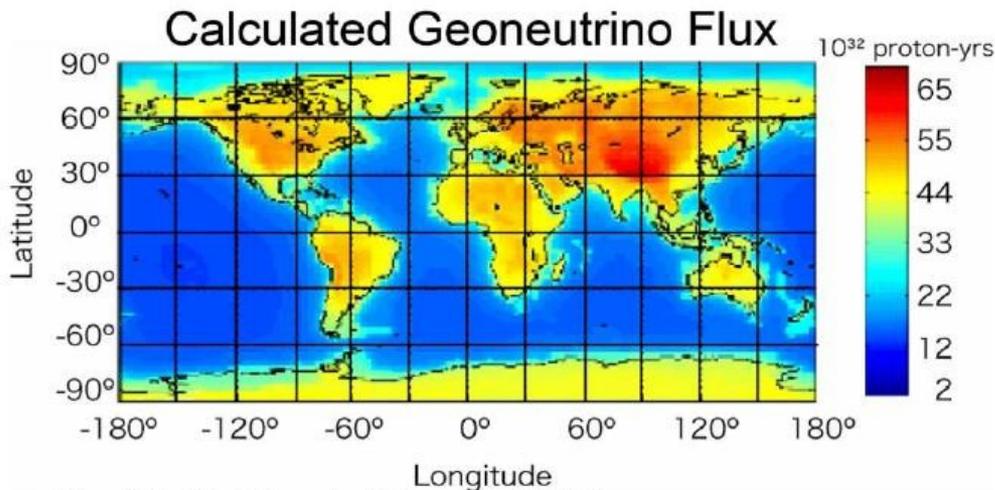
ИЯИ РАН, 16 ноября 2017

План доклада

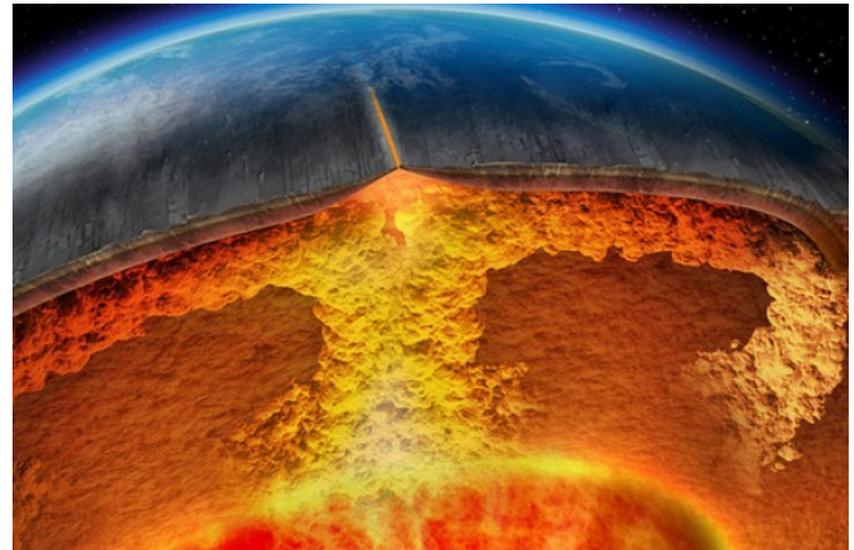
- Что такое геонейтрино и зачем их измерять?
- Предлагаемые и действующие детекторы для регистрации геонейтрино
- Соотношение эффектов геонейтрино и фоновых реакторных нейтрино

Часть I

Что такое геонейтрино и зачем их измерять?



G. Fiorentini, M. Lissia, F. Mantovani, and R. Vannucci, hep-ph/0401085



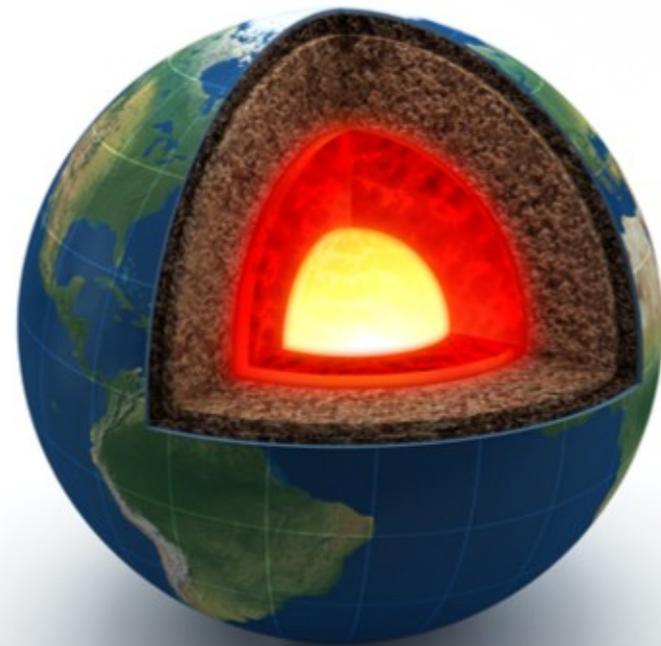
Геонейтрино в модели строения Земли

Геонейтрино испускаются в основном
 ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{40}K

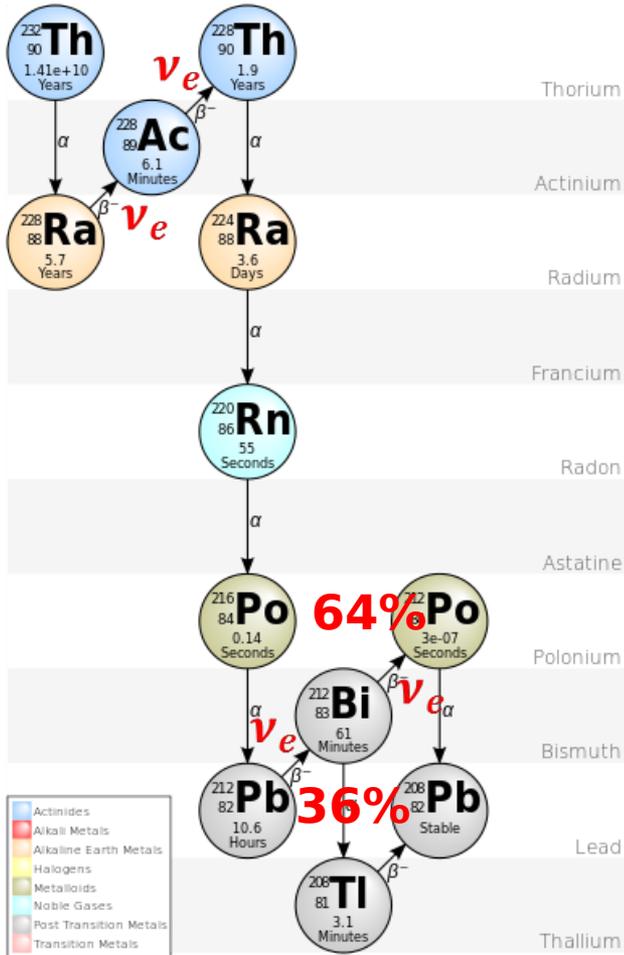
В стандартной модели Земли
(bulk silicate earth)
эти элементы находятся в основном
в коре, хотя в гидритной модели
они равномерно расположены
по всему объему Земли

Отношение содержания тория в
Земле к содержанию урана = **3.9**

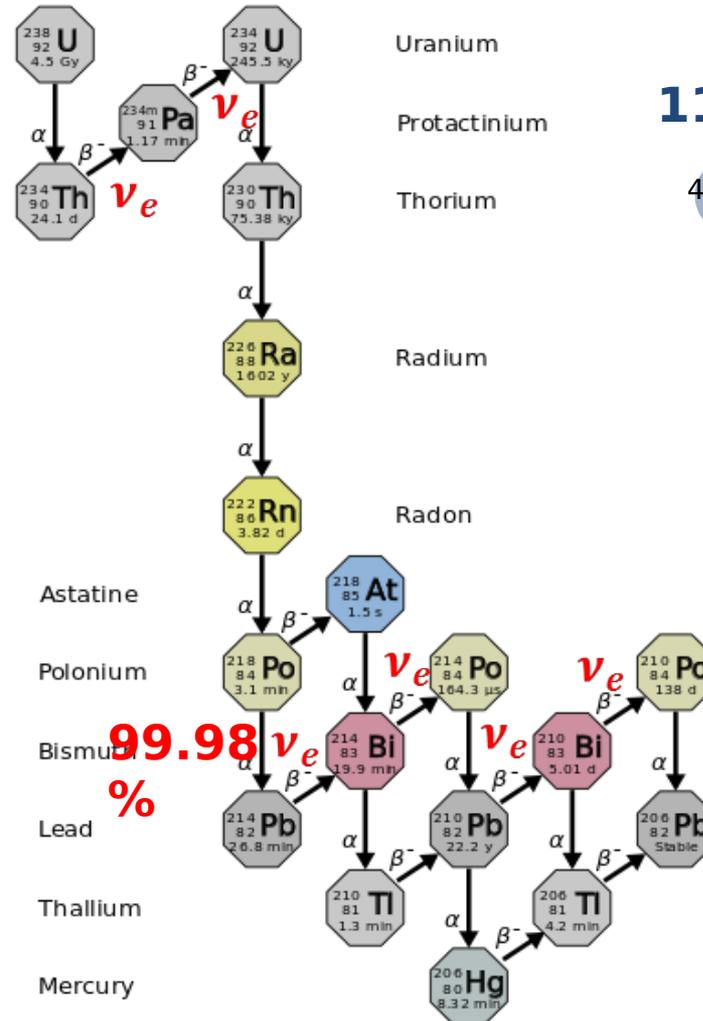
Радиогенное тепло составляет только
часть земного теплового потока.
Полный поток **47 ТВт**, а радиогенный – 20
ТВт



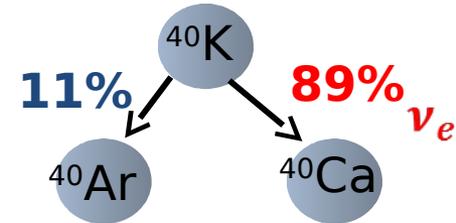
Семейство ^{232}Th



Семейство ^{238}U



^{40}K



Измерение потока геонейтрино поможет улучшить понимания устройства Земли

- Предлагается исследовать отличается ли Th/U отношение от отношения, предлагаемого BSE.
- Чтобы обнаружить разницу в отношениях, предсказываемых гипотезами BSE (3.9) и HE (1.7) требуется выдержка не менее 25 кт • лет
- Требуется точно определять фон от искусственных реакторов

L. Bezrukov, V. Sinev arXiv: 1405.3161 [astro-ph.EP]

Neutrino rates from ^{40}K in 100 t PC

3.74%

0.37%

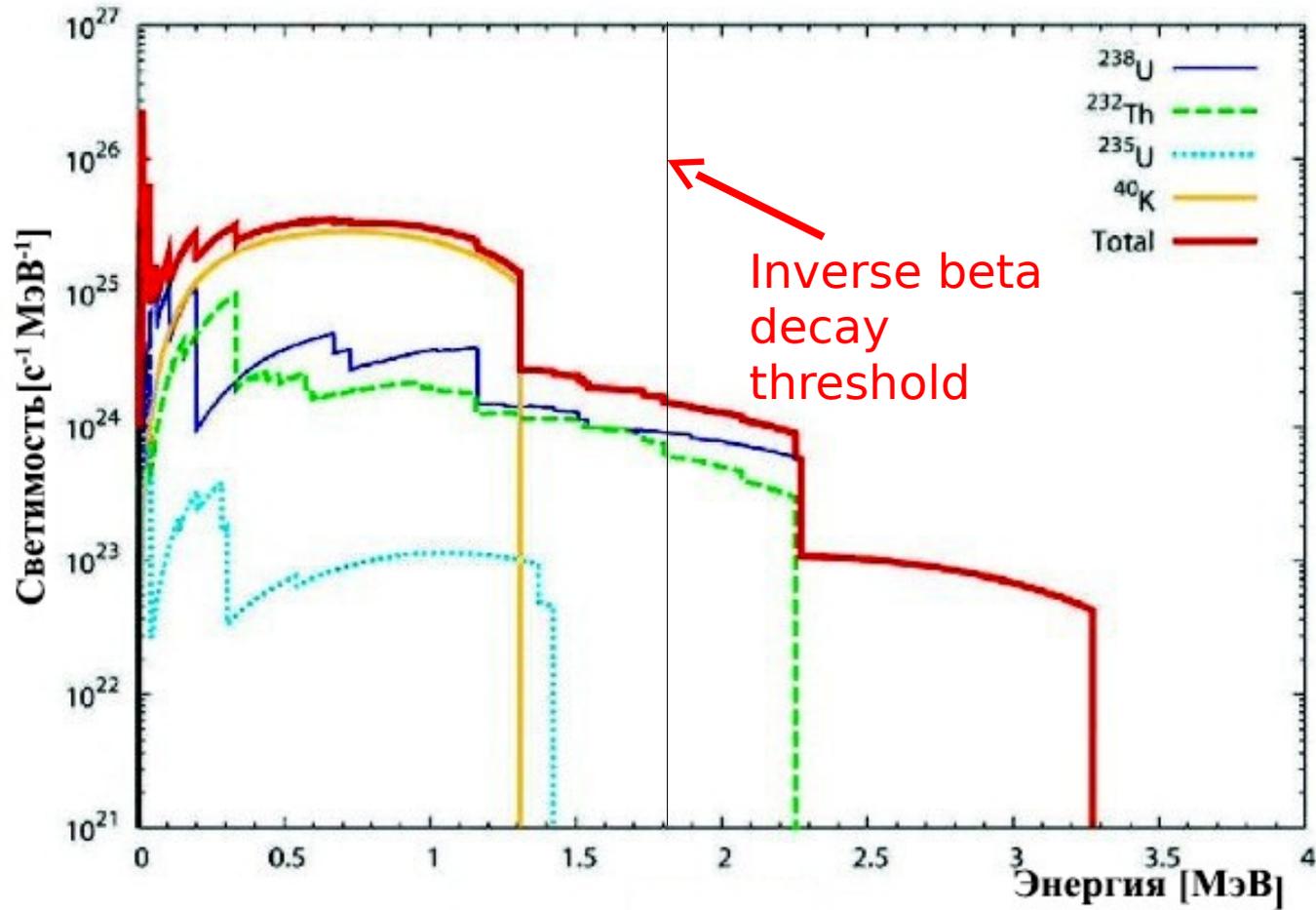
	neutrino	antineutrino	neutrino	antineutrino
Flux, $\text{cm}^{-2}, \text{s}^{-1}$	1.83×10^6	8.15×10^8	3.05×10^5	1.36×10^8
Rate, 1/day	0.7	4.5	0.02	1.5
	M(K) = kg	2.18×10^{23}	M(K) = kg	2.16×10^{22}

Долгоживущие радиоактивные ИЗОТОПЫ

Isotope	$T_{1/2}$, years	Abundanc e, %	Activit y	E_{max} , MeV	H, TW
^{40}K	1.2775×10^9	0.024 - 1.5	Beta	1.31	4-300
^{232}Th	1.405×10^{10}	8.0×10^{-6}	Beta. alpha	2.23	12
^{238}U	4.468×10^9	2.0×10^{-6}	Beta. alpha	3.5	11-12
^{87}Rb	4.75×10^{10}	6.0×10^{-3}	Beta	0.28	1-5
^{176}Lu	3.78×10^{10}	5.6×10^{-5}	Beta	0.6	0.02
^{147}Sm	1.06×10^{11}	6.0×10^{-4}	alpha	2.223	1.5
^{138}La	1.05×10^{11}	5.6×10^{-5}	Beta	0.13	0.01
^{190}Pt	6.5×10^{11}	3.7×10^{-6}	alpha	3.249	0.002

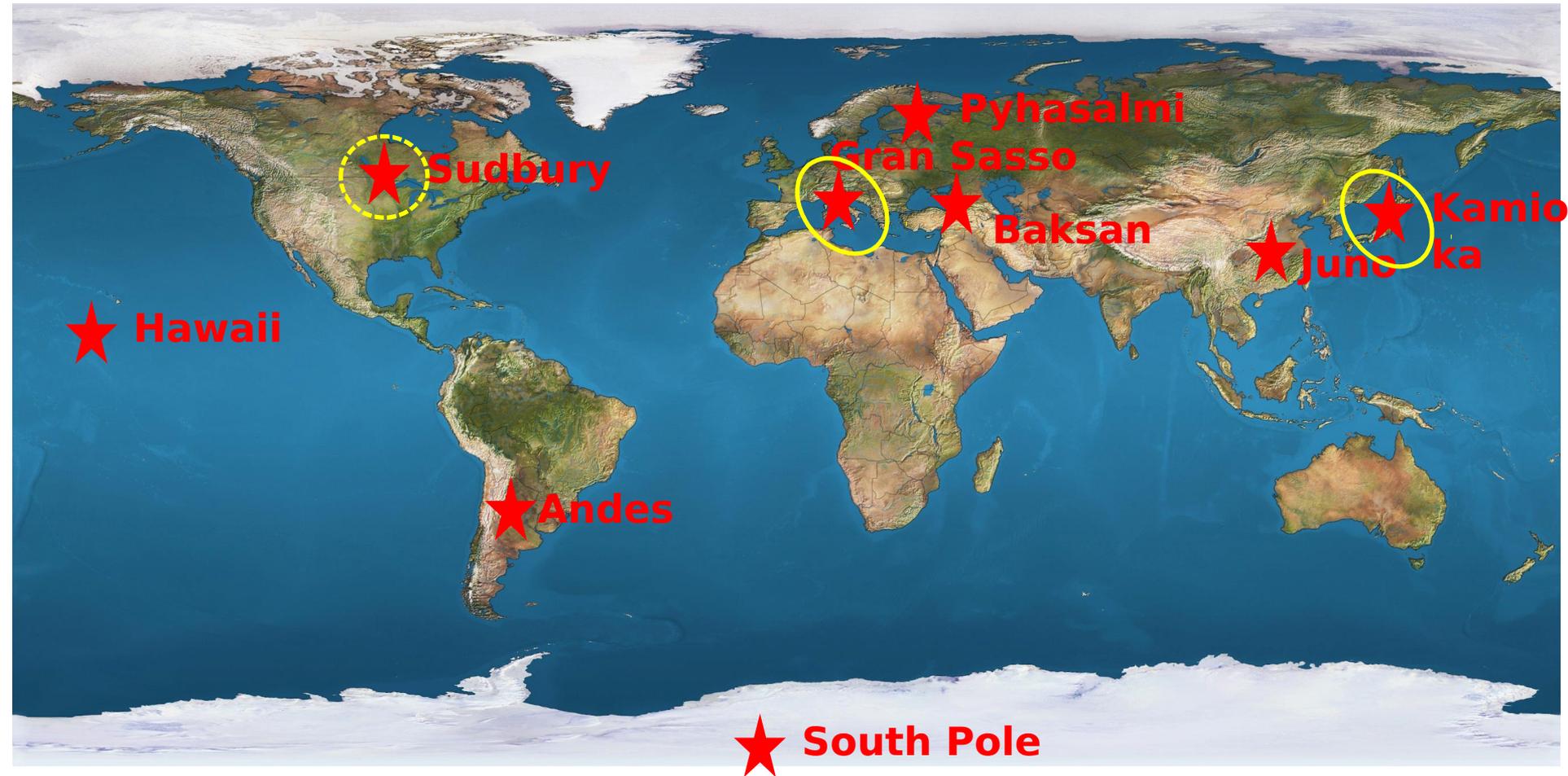
Бета-распад $N(Z) \rightarrow N(Z \pm 1) + e^{-(+) + (\nu_e)$

Энергетический спектр геонейтрино

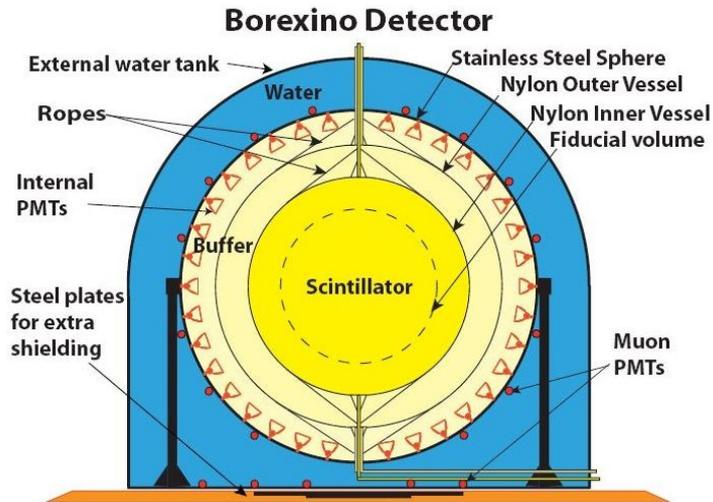


Часть II.

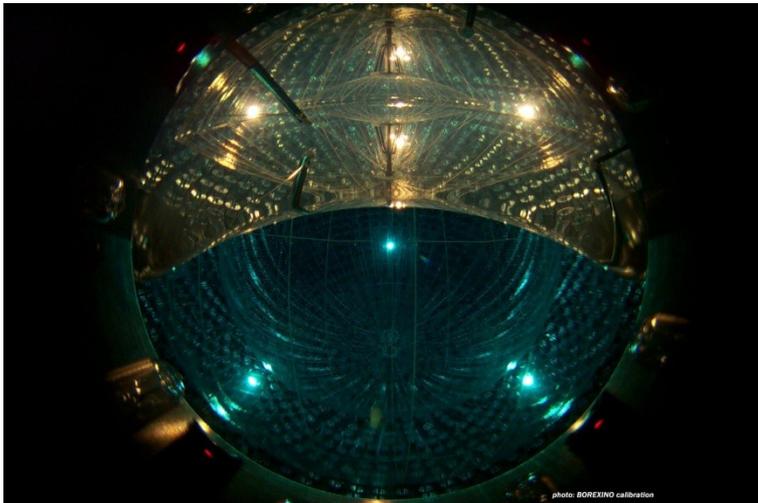
Предлагаемые и действующие детекторы для регистрации геонейтрино



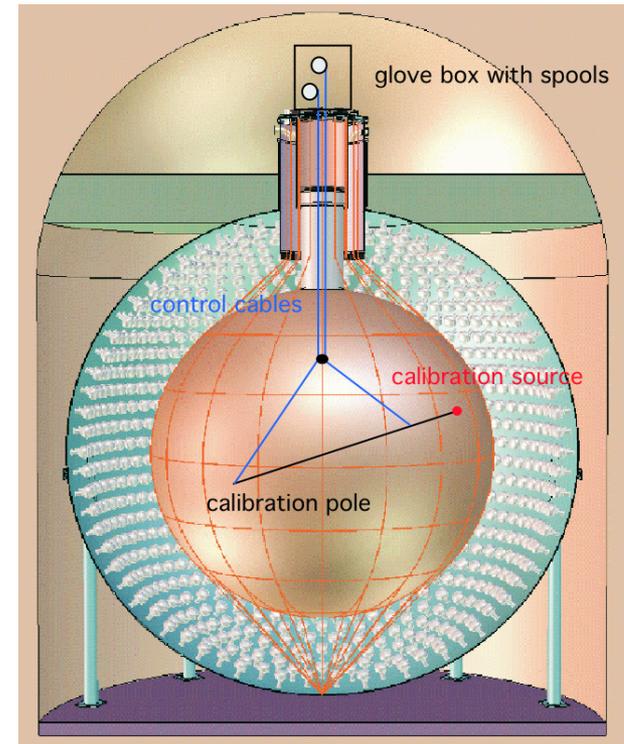
Детекторы, зарегистрировавшие поток геонейтрино



100 t fiducial volume. Total 300 t.
 $R \sim 4$ ev./year



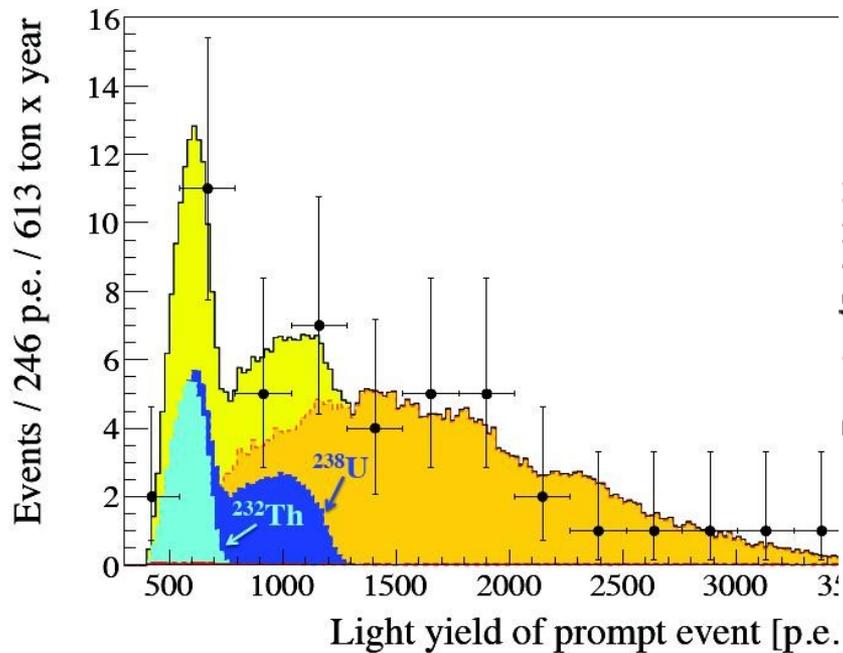
KamLAND Detector



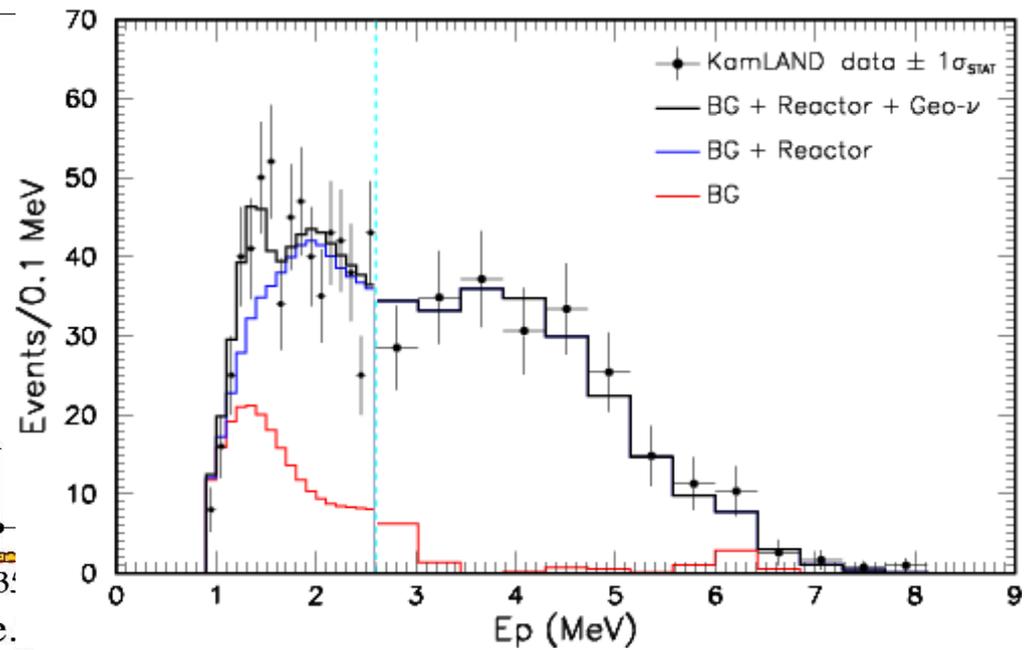
600 t fiducial volume. Total 1000 t. $R \sim 25$ ev./year

Измеренный спектр геонейтрино

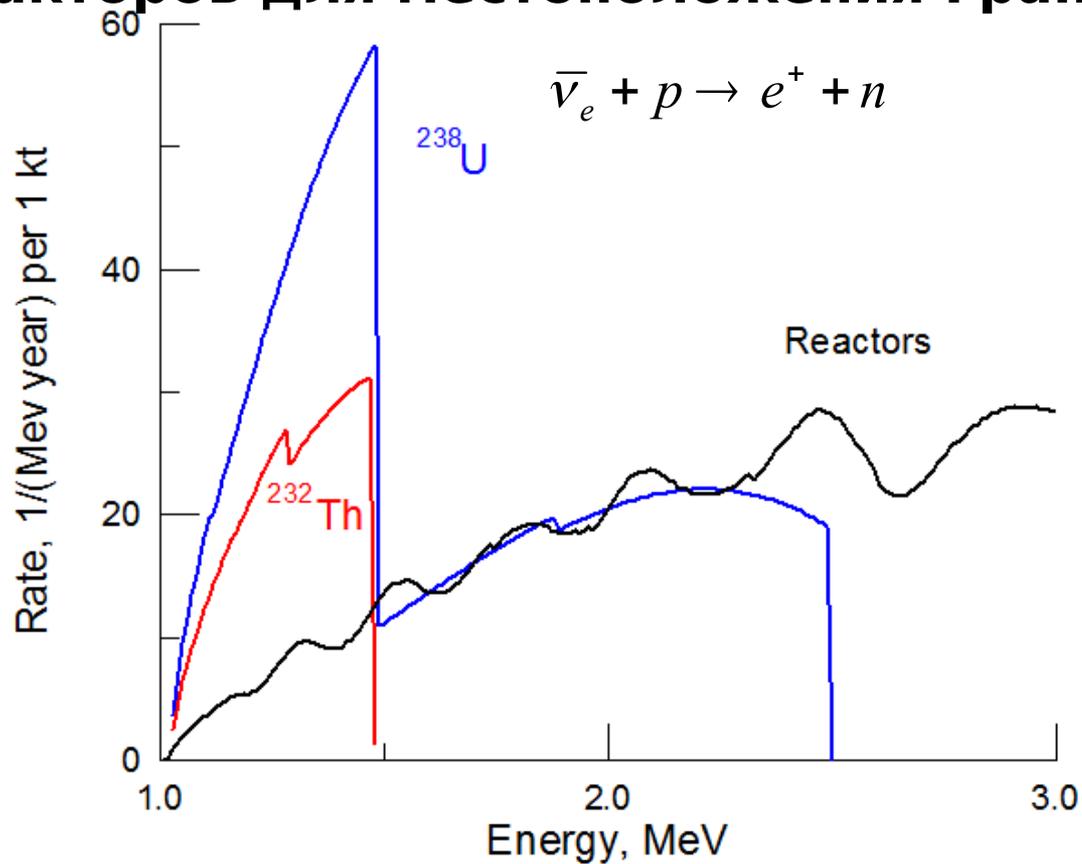
Borexino



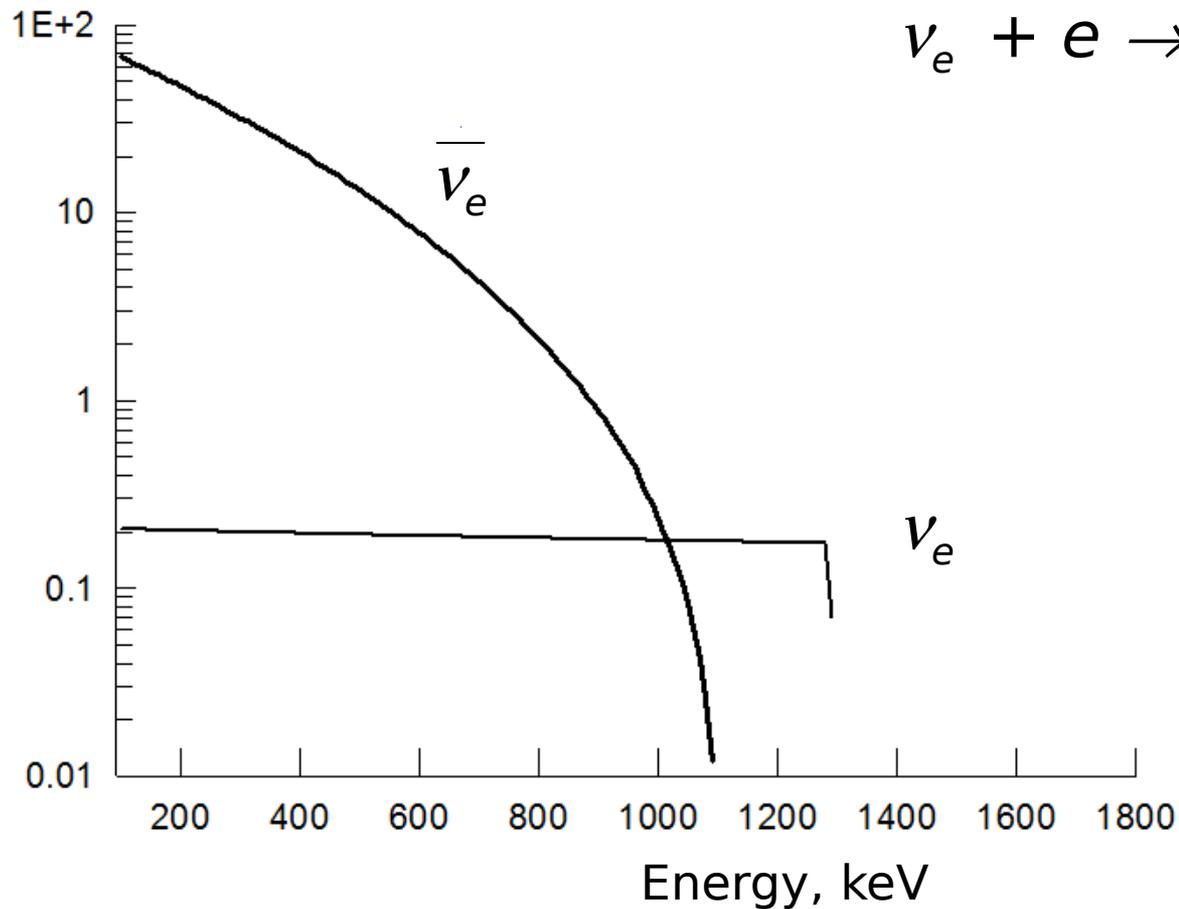
KamLAND



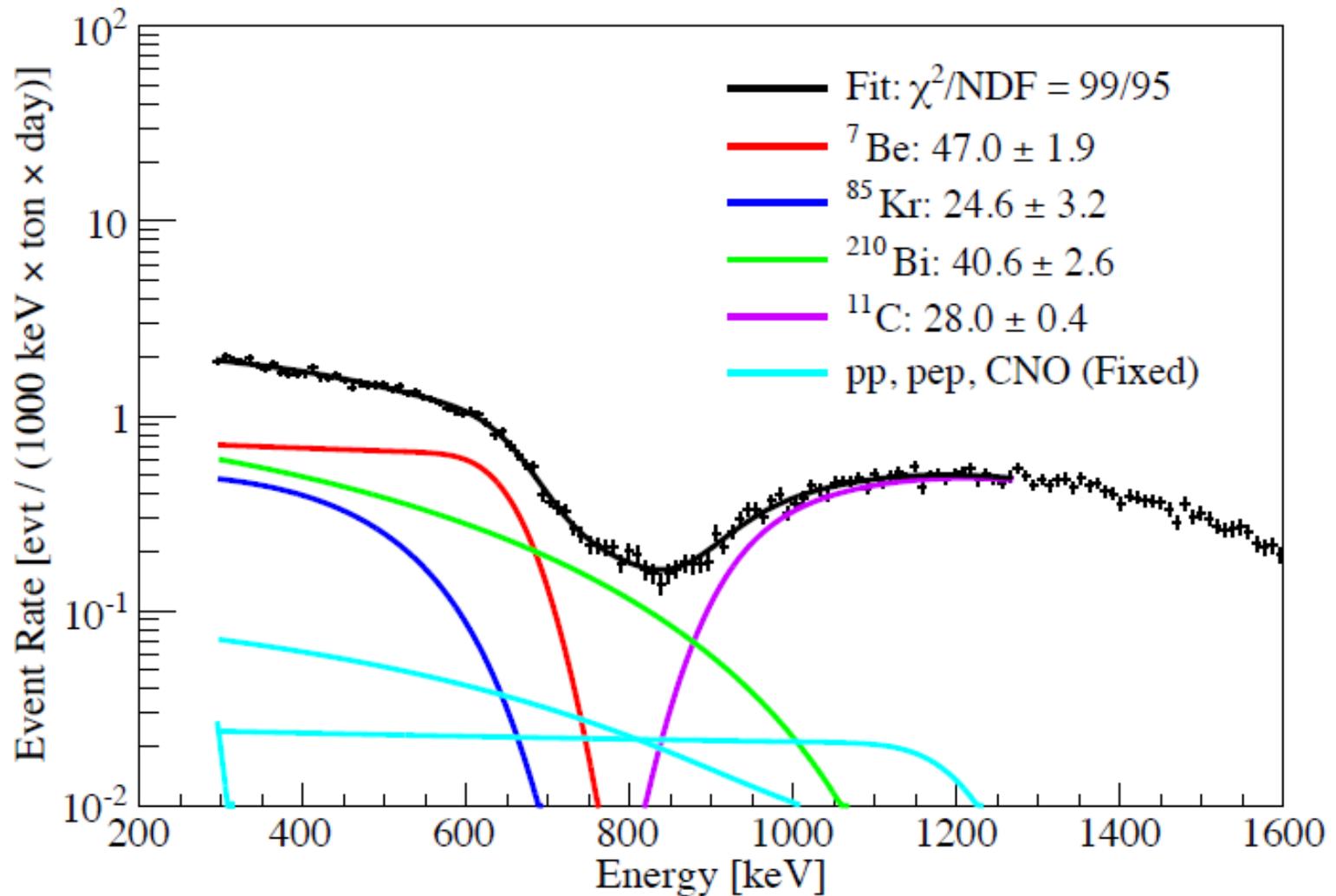
Расчетная зависимость скорости счета реакций обратного бета-распада геонейтрино в сцинтилляционном детекторе 1 килотонн в год в зависимости от энергосвечения в первой вспышке после реакции нейтрино в детекторе. Синяя кривая - геонейтрино из U-распада, красная кривая - геонейтрино из Th-распада, черная кривая - расчетный фон из реакторов для местоположения Гран-Сассо



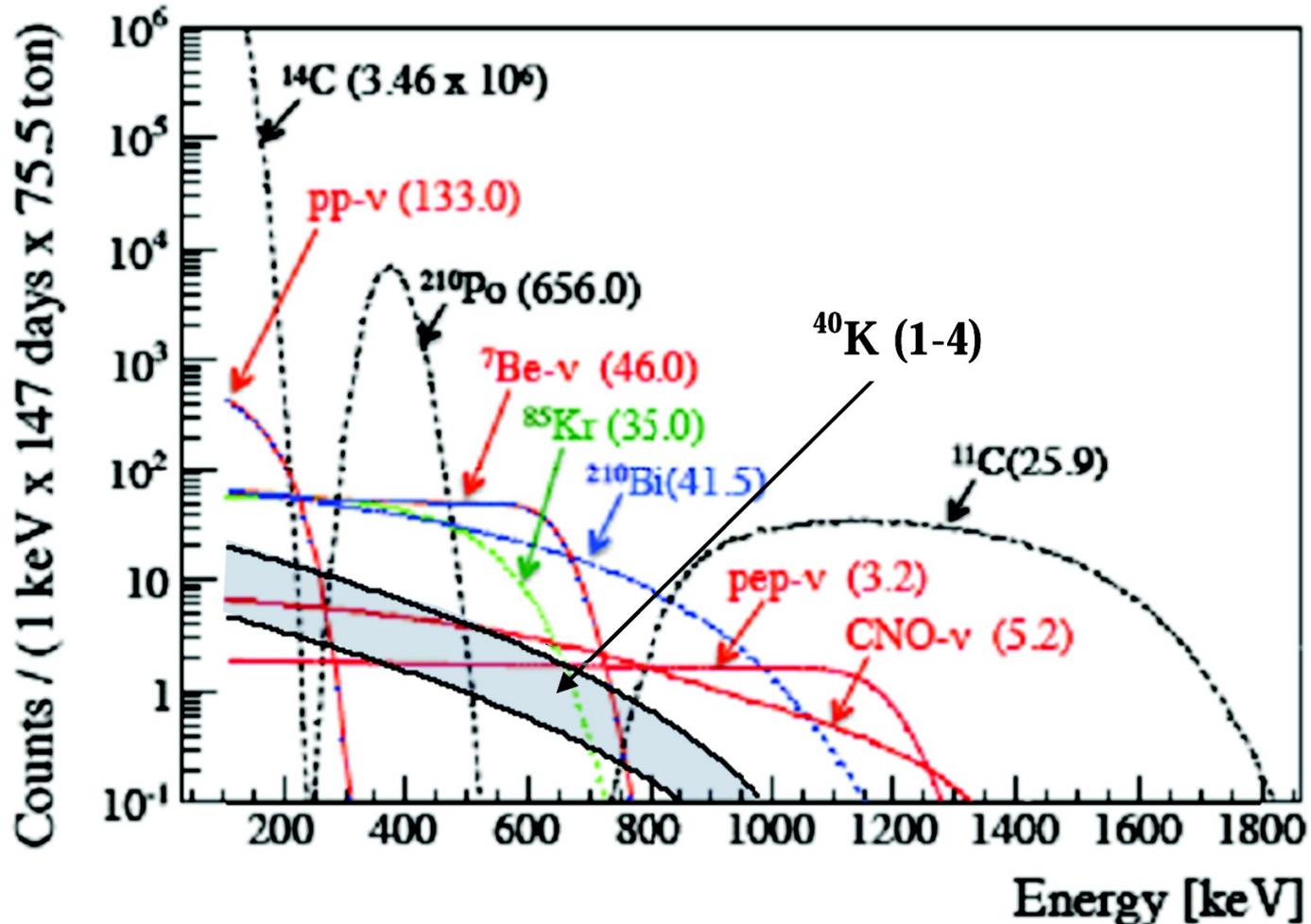
Энергетический спектр электронов отдачи для ^{40}K



Borexino



Recoil electrons spectrum from ^{40}K in BOREXINO

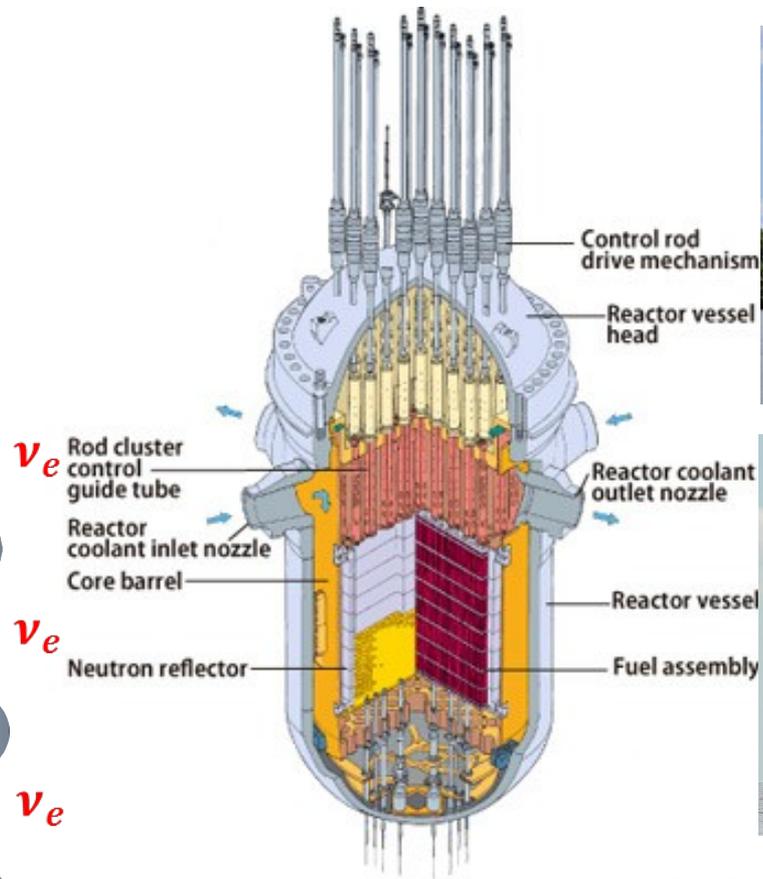
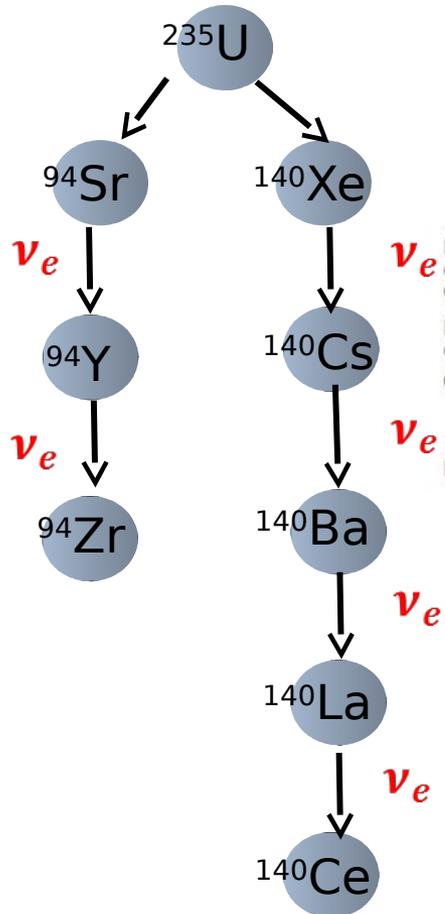


Часть III

Поток фоновых реакторных антинейтрино



Происхождение реакторных нейтрино

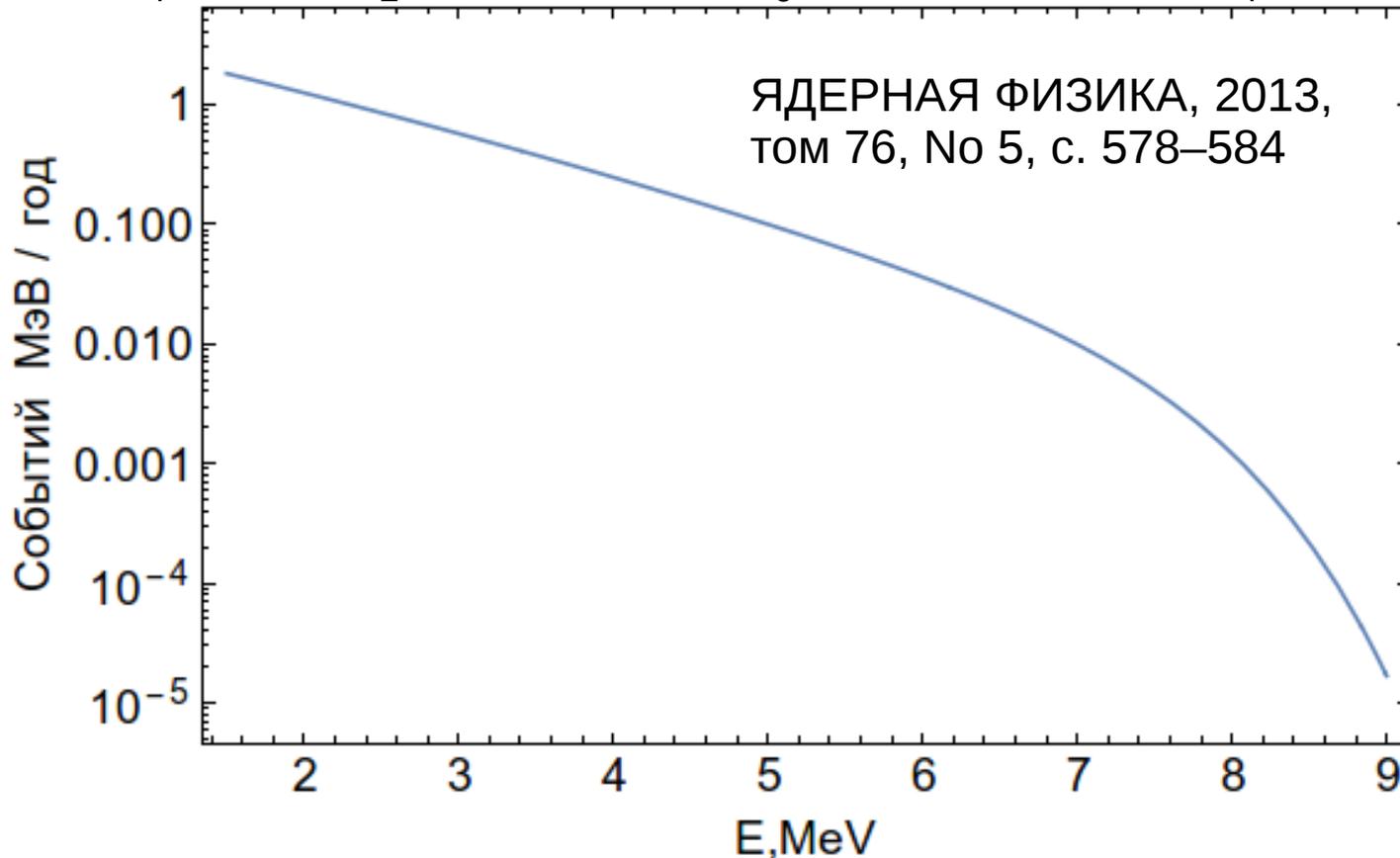


В состав ТВЭЛ входит ^{235}U , который в ходе полного распада выпускает 6 нейтрино

Спектр реакторных нейтрино

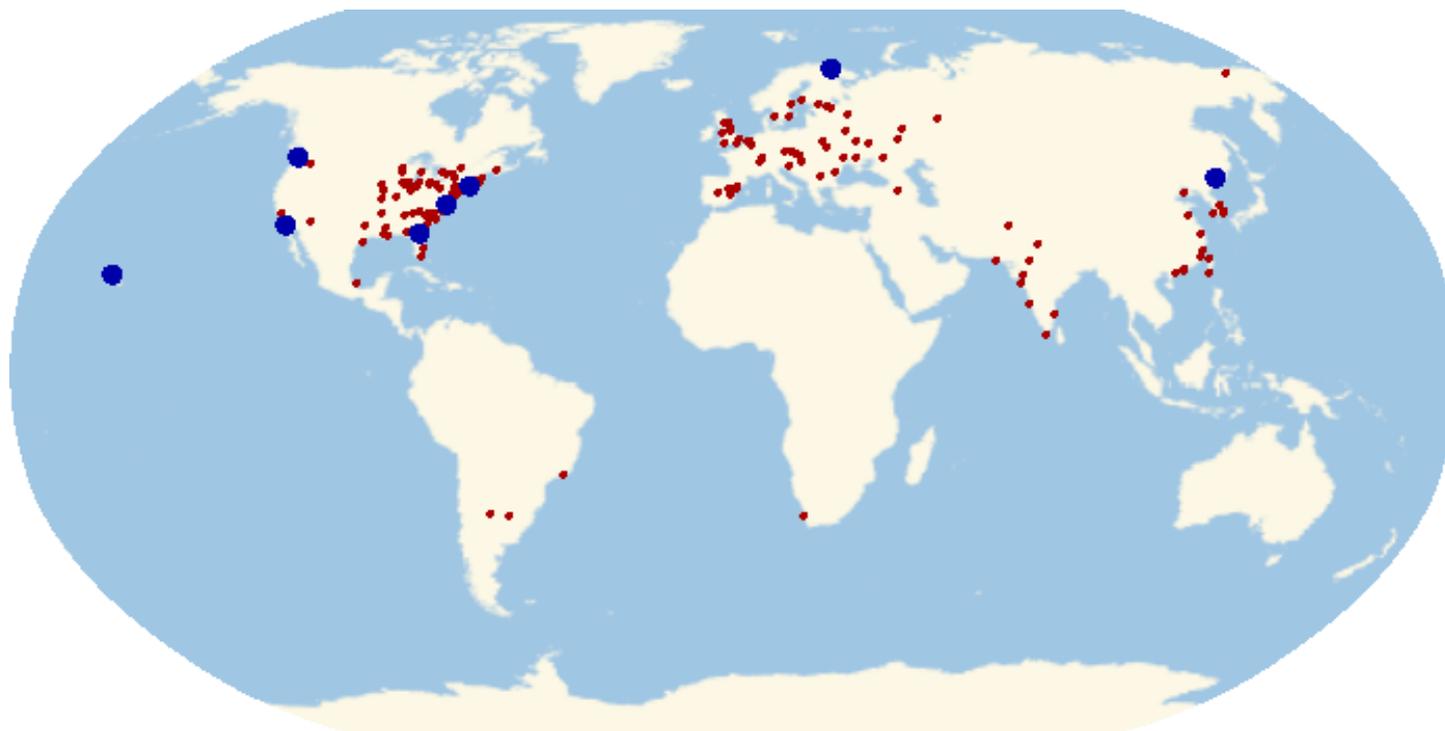
$$S(E/\text{MeV}) = a_1 \text{Exp}[-a_2 E - a_3 E^2 - a_4 (0.125 E)^{10}]$$

$$a_1=5.09, a_2=0.648/\text{MeV}, a_3=0.0272/\text{MeV}^2, a_4=1.411/\text{MeV}^{10}.$$



Спектр реакторных нейтрино формируется преимущественно четырьмя делящимися изотопами. ^{235}U (60%), ^{239}Pu (30%), ^{238}U (7%), ^{241}Pu (3%).

Расположение атомных станций и крупнейших военно морских баз



Всего в мире 317 атомных станций суммарной тепловой мощностью 1 ТВт, средняя мощность АЭС 2400 МВт

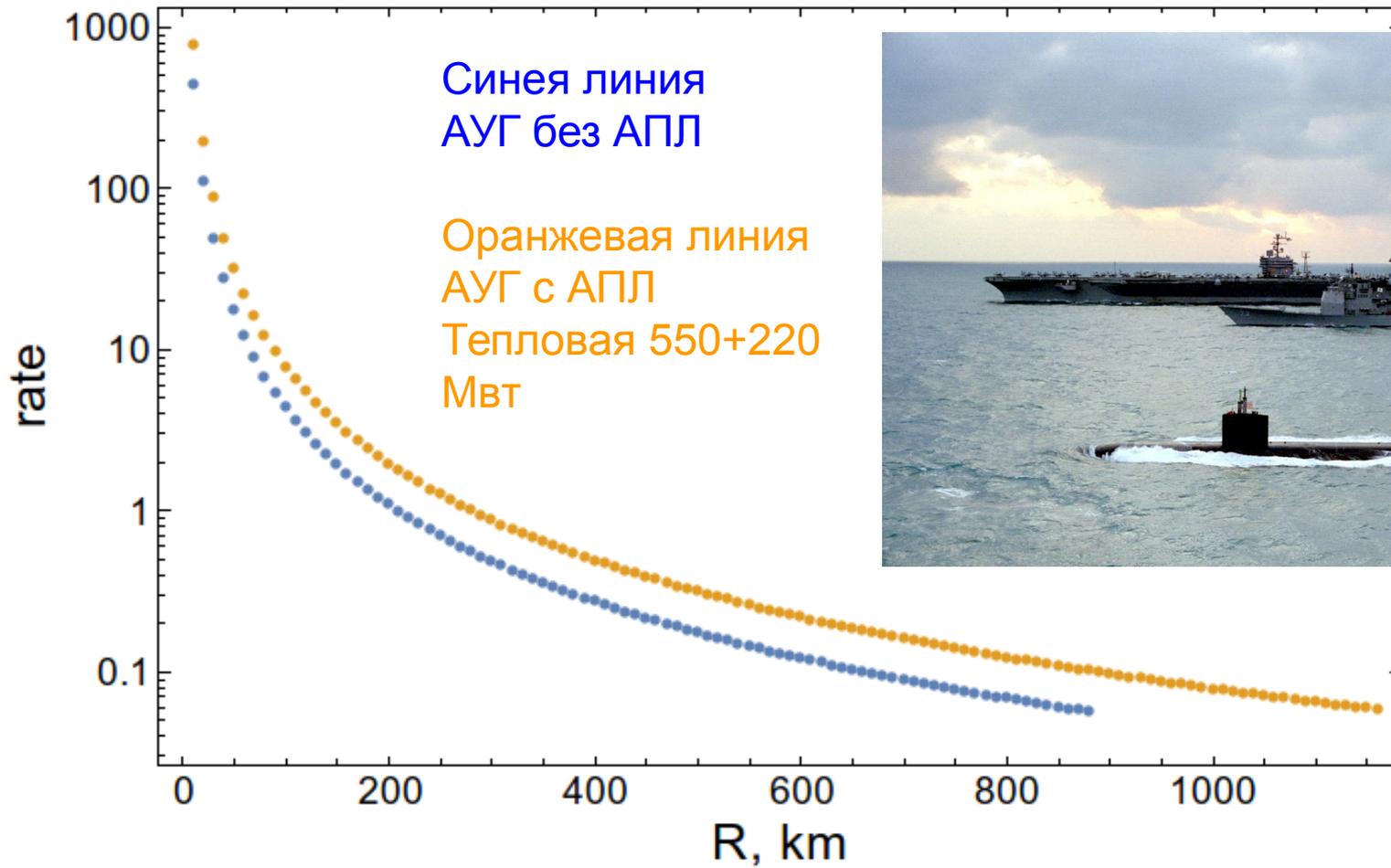
В среднем тепловая мощность корабельного атомного реактора составляет 170 МВт. Тем не менее, суммарная тепловая мощность всех судовых реакторов составляет 24.6 ГВт. Также не известно точное расположение кораблей с АЭУ, средняя мощность АПЛ 170 МВт

Распределение атомоходов в океане

1. Всего в мире на данный момент 149 действующих атомоходов: 131 подводных лодок, 12 авианосцев, 5 ледоколов, 1 крейсер
2. Предполагаются, что они не заплывают южнее 20° широты, так как страны имеющие в наличии корабли с АЭУ располагаются в Северном полушарии
3. Если порт приписки корабля находится у побережья Атлантики, то мы задаем его месторасположению либо в Атлантике или в Северном океане, аналогично и для кораблей чей порт приписки у побережья Тихого океана. Корабли СФ находятся либо в Северном океане или в Атлантике, кроме ледоколов. Авианосцы не заплывают в Северный океан.
4. Мы задаем 100 комбинаций случайных расположений кораблей и усредняем их



Зависимость скорости счета в год на килотонну от расстояния между детектором и авианосной ударной группы



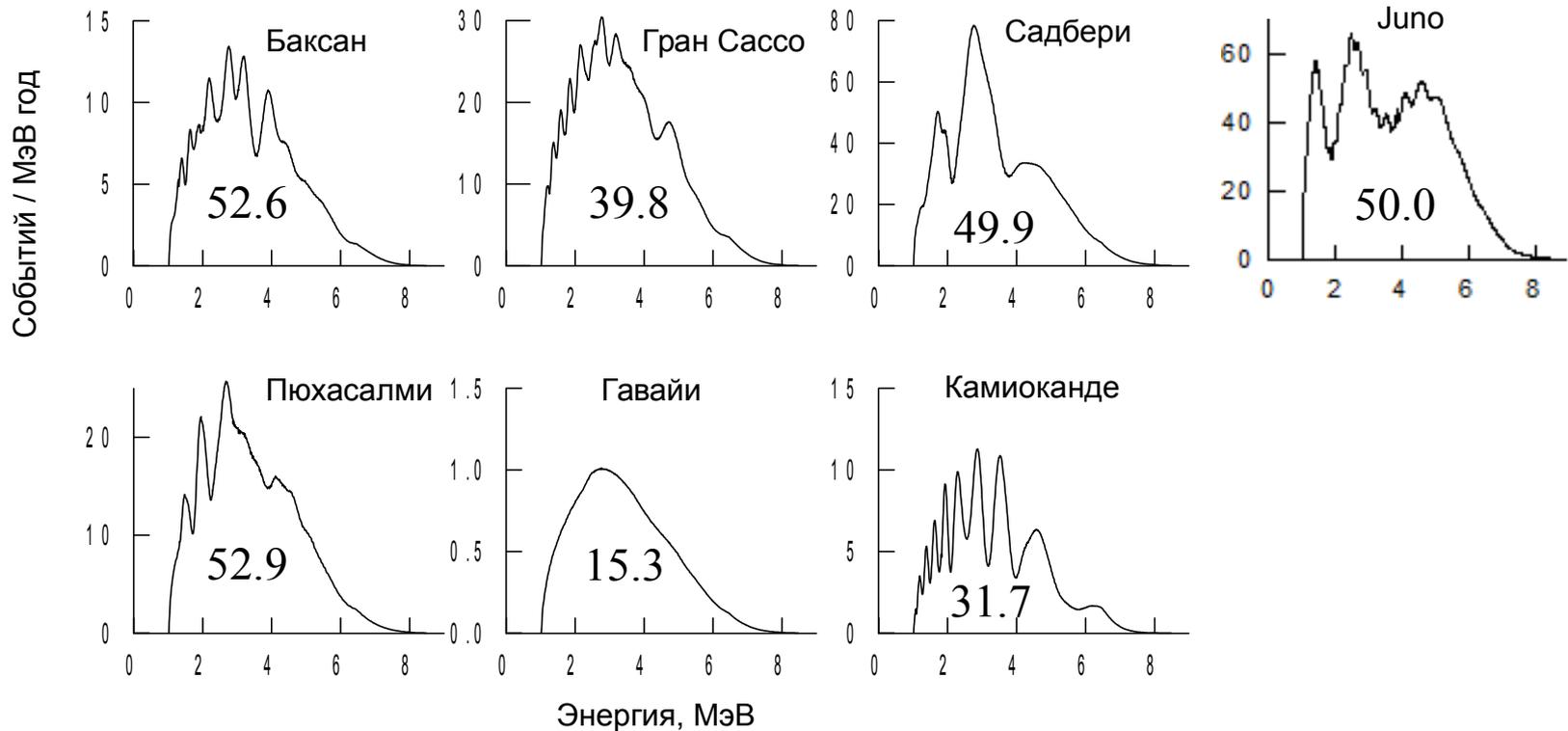
Учтены осцилляции
нейтрино

Скорость счета антинейтрино от ядерных реакторов и геонейтрино для предполагаемых положений детектора

Расположение	R_{NPS} , TNU в энергетическом окне геонейтрино	R_{ships} , TNU в энергетическом окне геонейтрино	G, TNU спектр геонейтрино	R_G/G
Baksan	14.37	0.06(+/-0.03)	52.6	0.3
Gran Sasso	35.35	0.08(+/-0.007)	39.8	0.9
Sudbury	72.85	0.12(+/-0.016)	49.9	1.4
Pyhasalmi	27.61	0.16(+/-0.01)	52.9	0.5
Hawaii	1.29	0.2(+/-0.14)	15.3	0.1
Kamioka	10.30	0.12(+/-0.05)	31.7	0.3

К сожалению, нейтрино не выгодно использовать для поиска АПЛ

Спектры нейтрино от ядерных реакторов в местах расположения детектора



Спектры рассчитаны для мишени, содержащей 10^{32} протонов (около 1 кт)

Спасибо за внимание

Slides besides

Geoneutrinos

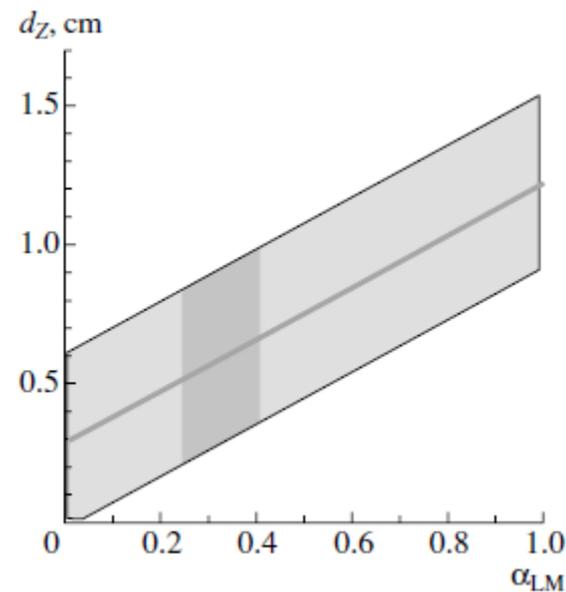
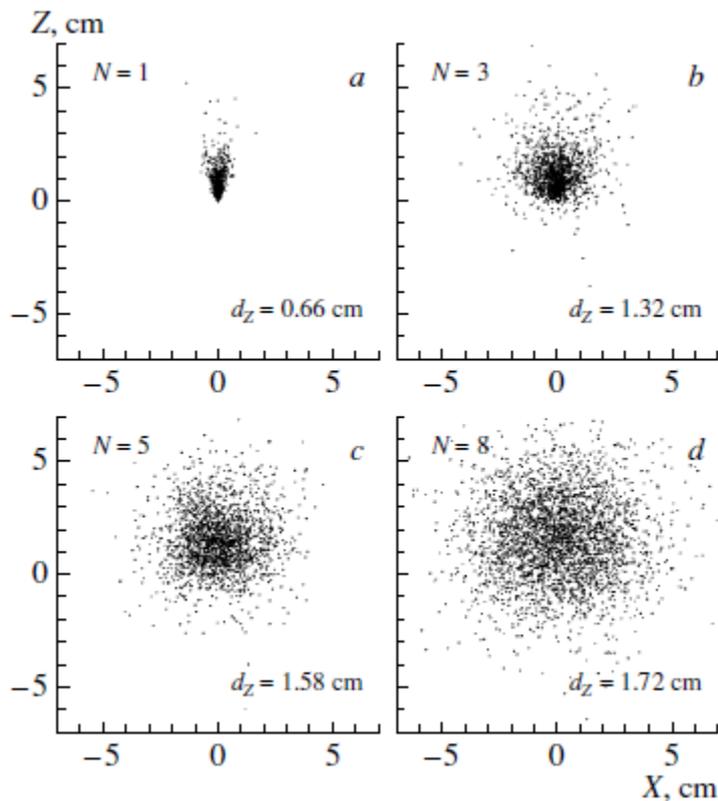
Next step of geoneutrino research

- ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{40}K decays in the Earth body are the source of geoneutrinos.
- $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb} + 8\alpha + 6e + 6\tilde{\nu}_e + 51,7 \text{ MeV}$
- $^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb} + 6\alpha + 4e + 4\tilde{\nu}_e + 42,8 \text{ MeV}$
- $^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ca} + e + \tilde{\nu}_e + 1.31 \text{ MeV}$

Some characteristics of LAB and PC

	LAB	PC
1000 t	C_6H_5- C_nH_{2n+1} or $C_{18}H_{30}$	C_6H_3- $(CH_3)_3$ or C_9H_{12}
H	7.465×10^3 1	6.012×10^3 1
C	4.479×10^3 $n = 10-14, n = 12$ 1	4.510×10^3 1
electrons	3.434×10^3 2	3.307×10^3 1

Направление на источник нейтрино в реакции обратного бета распада



$$\langle \mathbf{R}_{enX} \rangle = \langle \mathbf{R}_{enY} \rangle = 0 \pm \sigma_X / \sqrt{N},$$

$$d_{LM} = \langle \mathbf{R}_{enZ} \rangle = 1.2 \text{ cm} \pm \sigma_Z / \sqrt{N}.$$