

Наблюдение эффекта осцилляций в эксперименте Нейтрино-4 по поиску стерильного нейтрино

А.П. Серебров, ПИЯФ

**А.П. Серебров¹, В.Г. Ивочкин¹, Р.М. Самойлов¹, А.К. Фомин¹, А.О.Полюшкин¹,
В.Г. Зиновьев¹, П.В. Неустроев¹, В.Л. Головцов¹, А.В. Чёрный¹, О.М. Жеребцов¹,
М.Е. Чайковский¹, В.П. Мартемьянов², В.Г. Тарасенков², В.И. Алешин²,
А.Л. Петелин, А.Л. Ижутов³, А.А. Тузов³, С.А. Сазонтов³, М.О. Громов³,
В.В. Афанасьев³, М.Е. Зайцев^{1,4}, А.А. Герасимов¹, Д.К. Рязанов⁴**

1. НИЦ «КИ» Петербургский институт ядерной физики, Гатчина, Россия

2. НИЦ “Курчатовский институт”, 123182 Москва, Россия

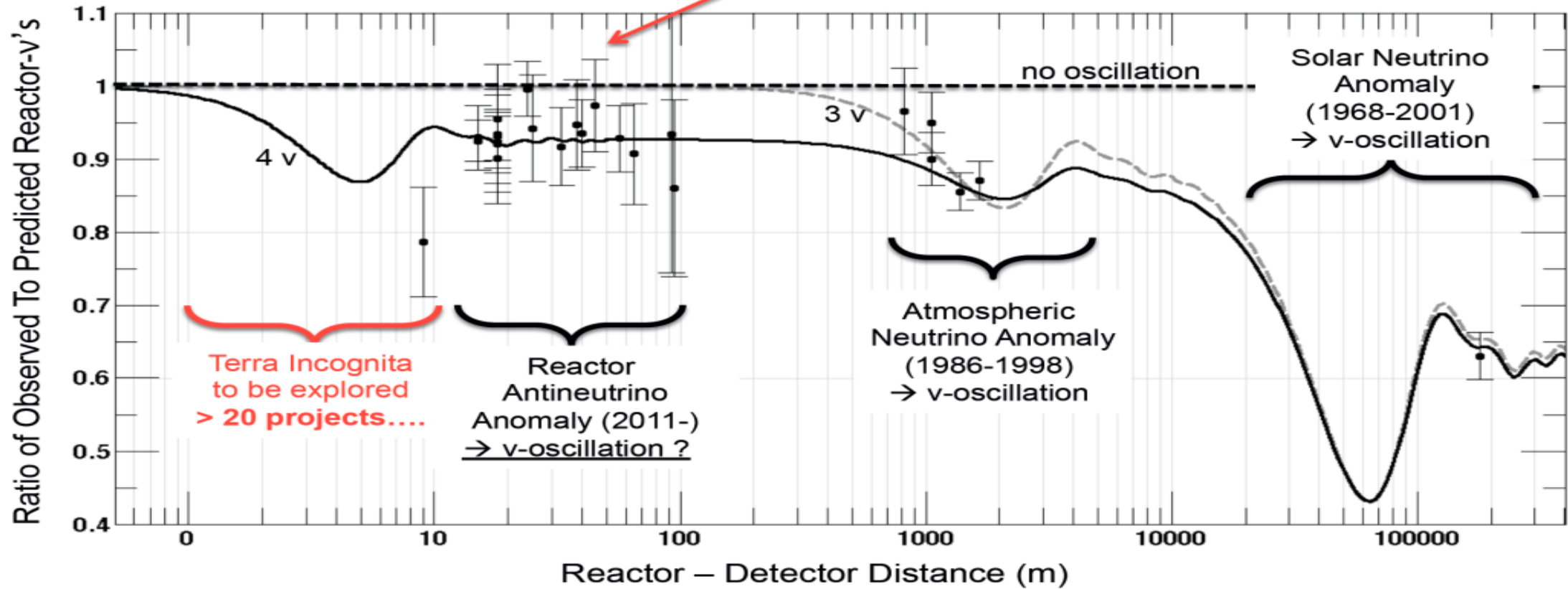
3. ОАО “ГНЦ НИИАР”, 433510 Димитровград, Россия,

4. ДИТИ МИФИ, 433511 Димитровград, Россия

15 октября 2018 семинар ИЯИ РАН

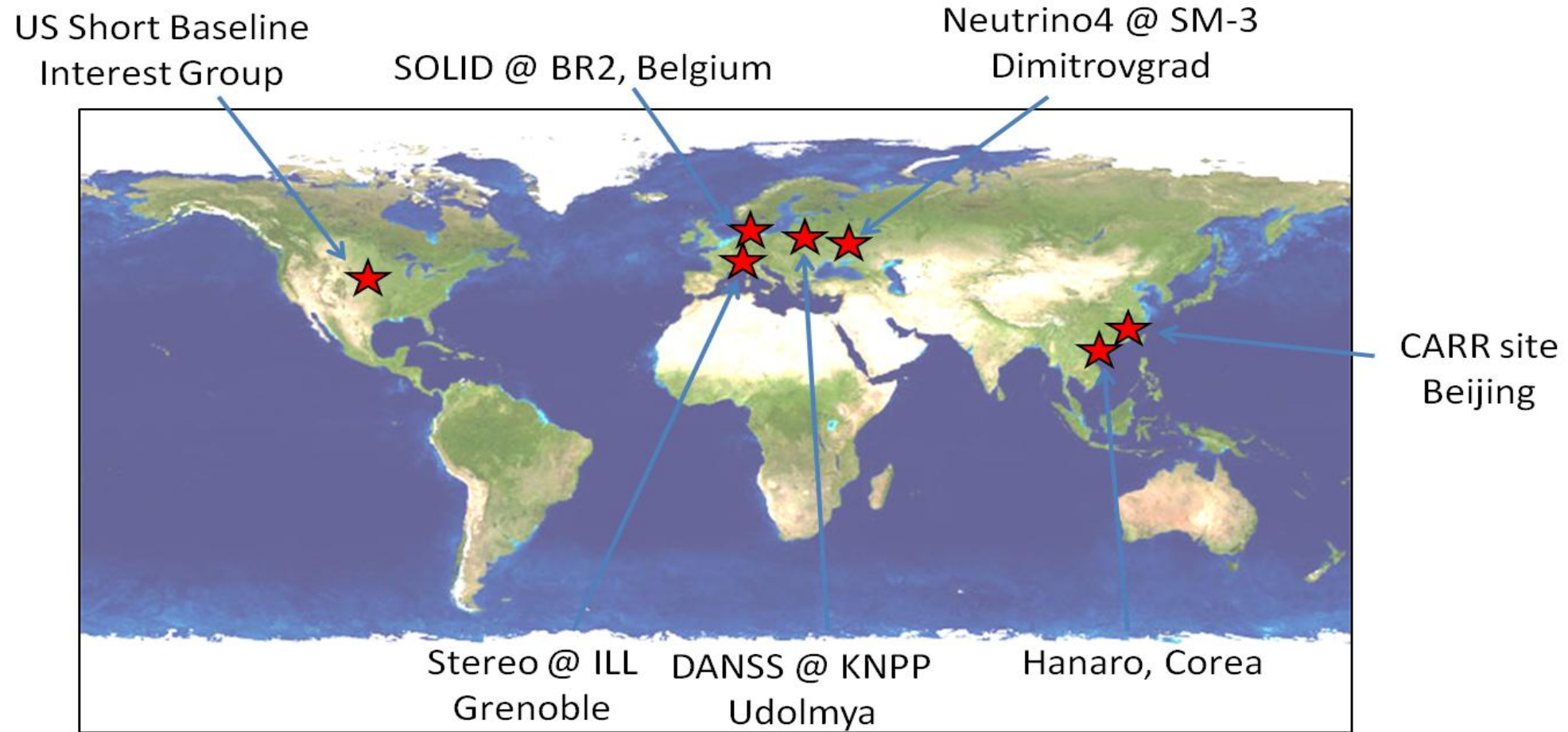
Reactor antineutrino anomaly

- Observed/predicted averaged event ratio: $R=0.927\pm0.023$ (3.0σ)



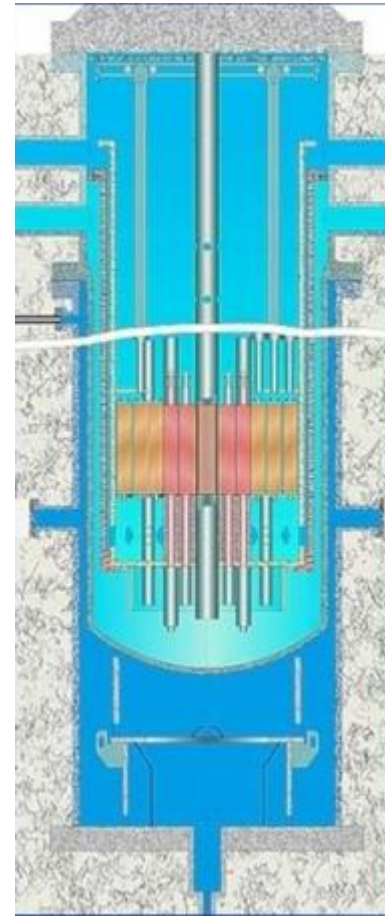
$$P(\tilde{\nu}_e \rightarrow \tilde{\nu}_e) = 1 - \sin^2 2\theta_{14} \sin^2 \left(1.27 \frac{\Delta m_{14}^2 [\text{eV}^2] L [\text{m}]}{E_{\tilde{\nu}} [\text{MeV}]} \right)$$

New Short Baseline Reactor Experiments

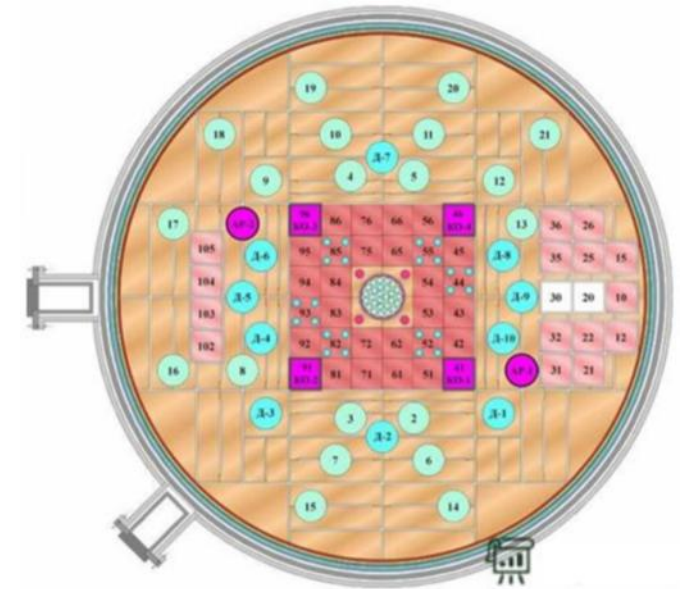


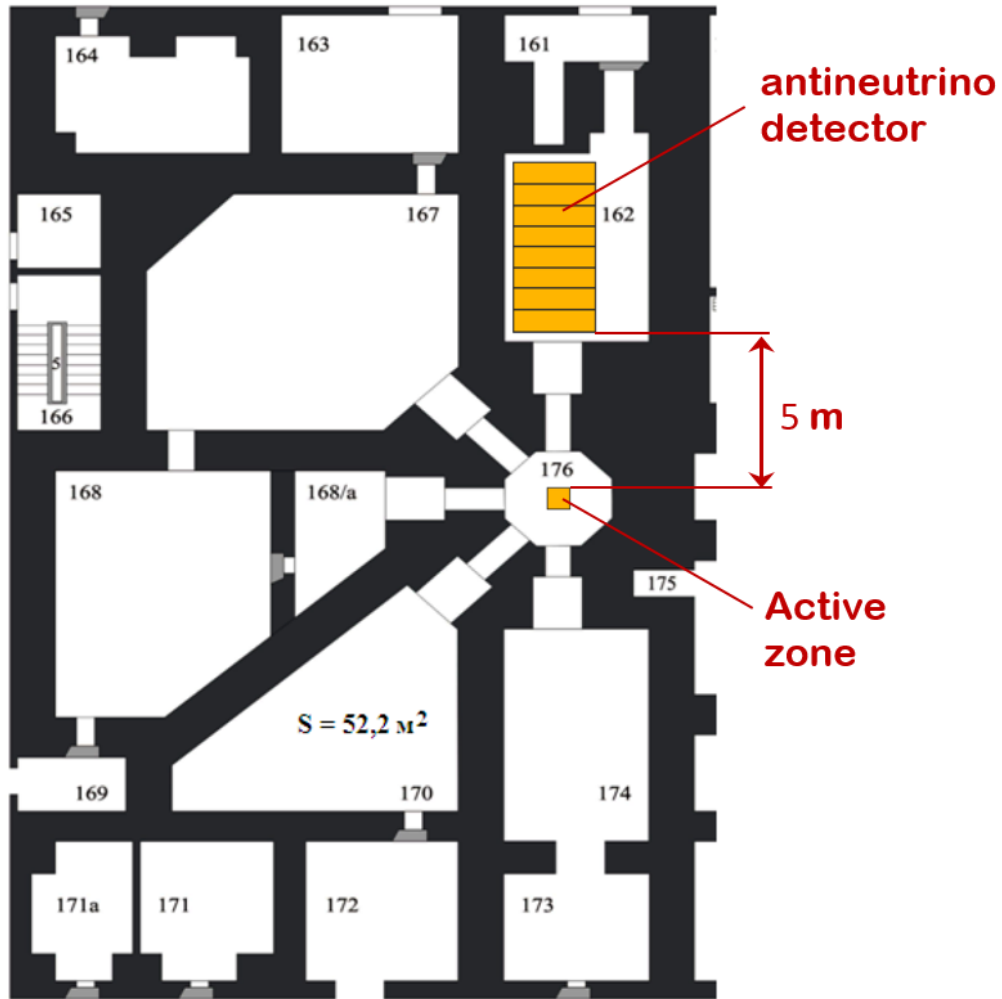
Исследовательский реактор СМ-3 ОАО “ГНЦ НИИАР”, Димитровград

- Тепловая мощность 100 МВт
- Компактная зона 42x42x35 см
- Высокообогащенный уран 235
- Отделенные лаборатории для экспериментальных установок
- **Лаборатория плохо защищена от космических лучей**



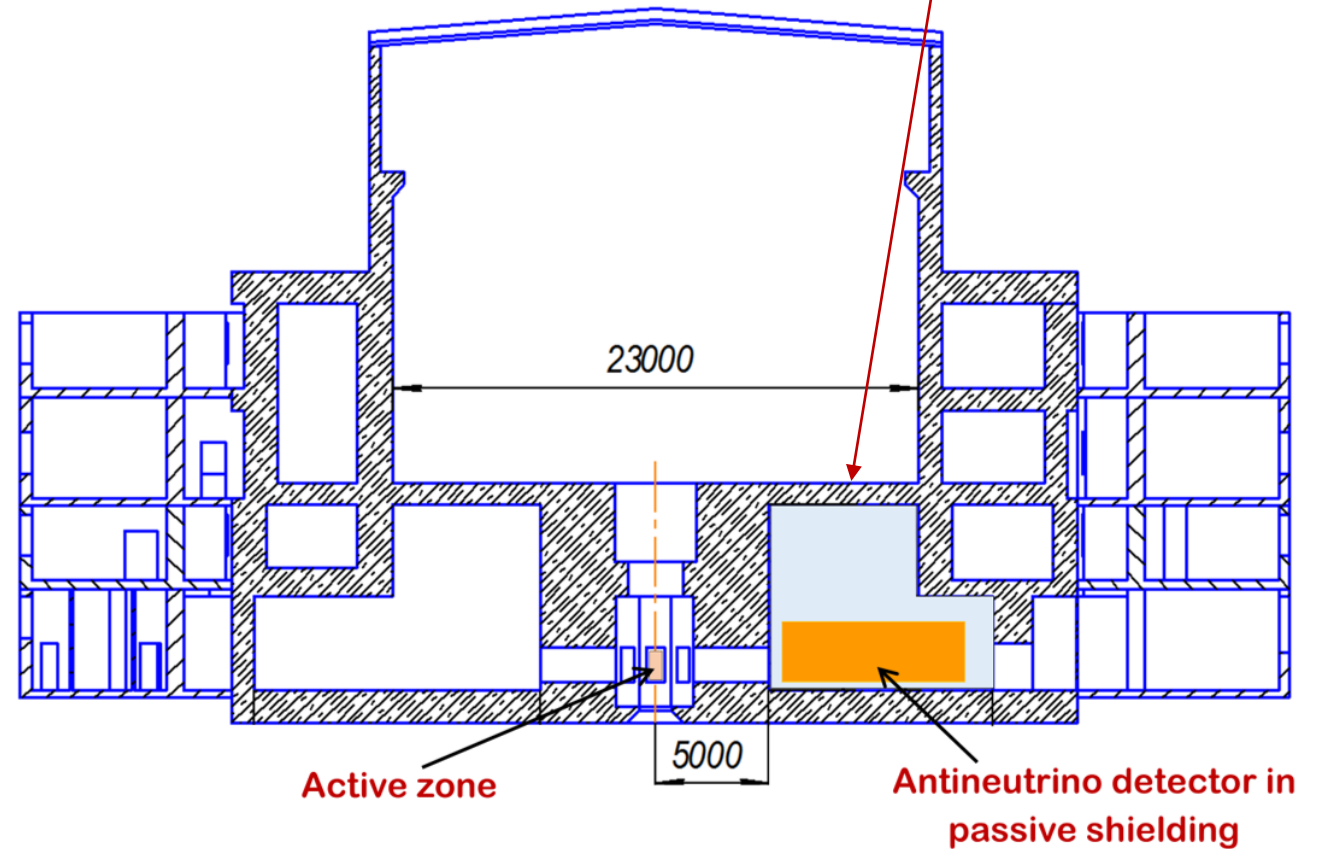
Вертикальное и
горизонтальное сечение
реактора СМ-3





Реактор СМ-3

Weak protection from cosmic rays (3-5 m w. e.)



Благодаря некоторым конструктивным особенностям реактор СМ-3 обеспечивает наиболее подходящие условия для экспериментов по поиску нейтринных осцилляций на малых расстояниях. Но реактор СМ-3, как и другие исследовательские реакторы, расположен на поверхности Земли, и поэтому, космический фон является самой главной трудностью в проведении данного эксперимента.

На реакторе СМ-3 создана нейтринная лаборатория

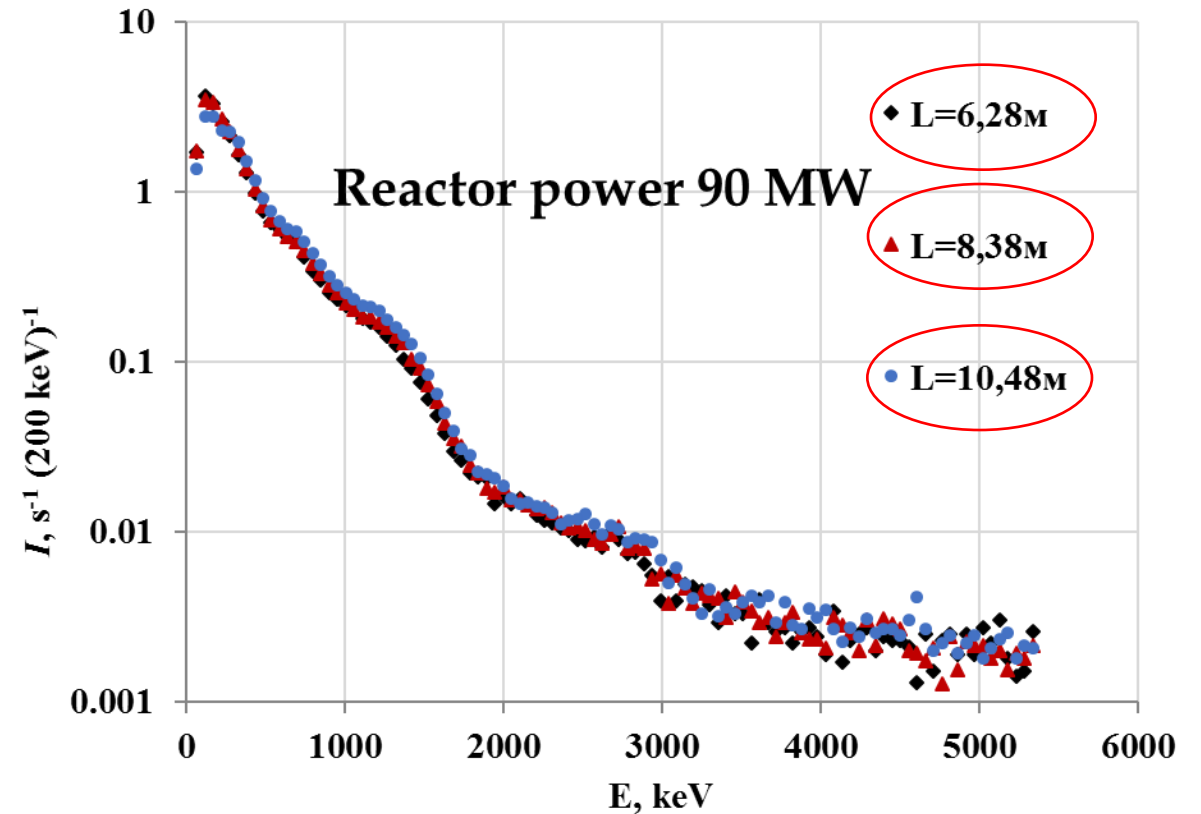
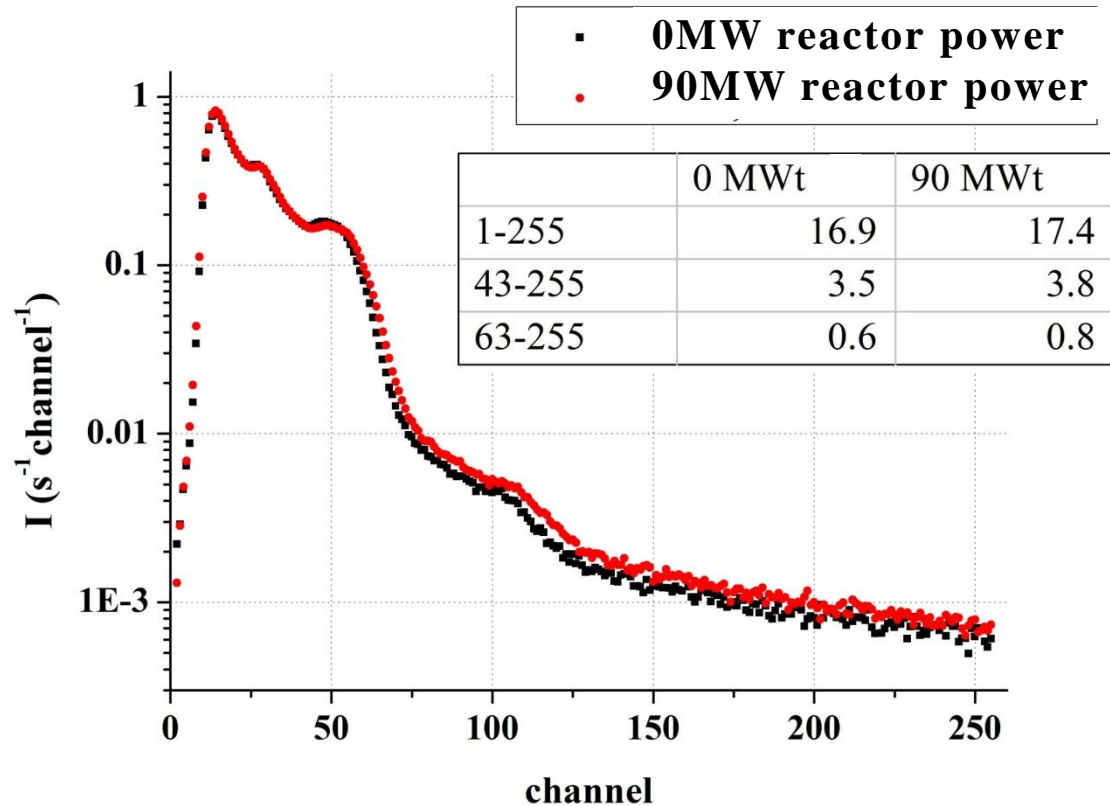


Пассивная защита 60т

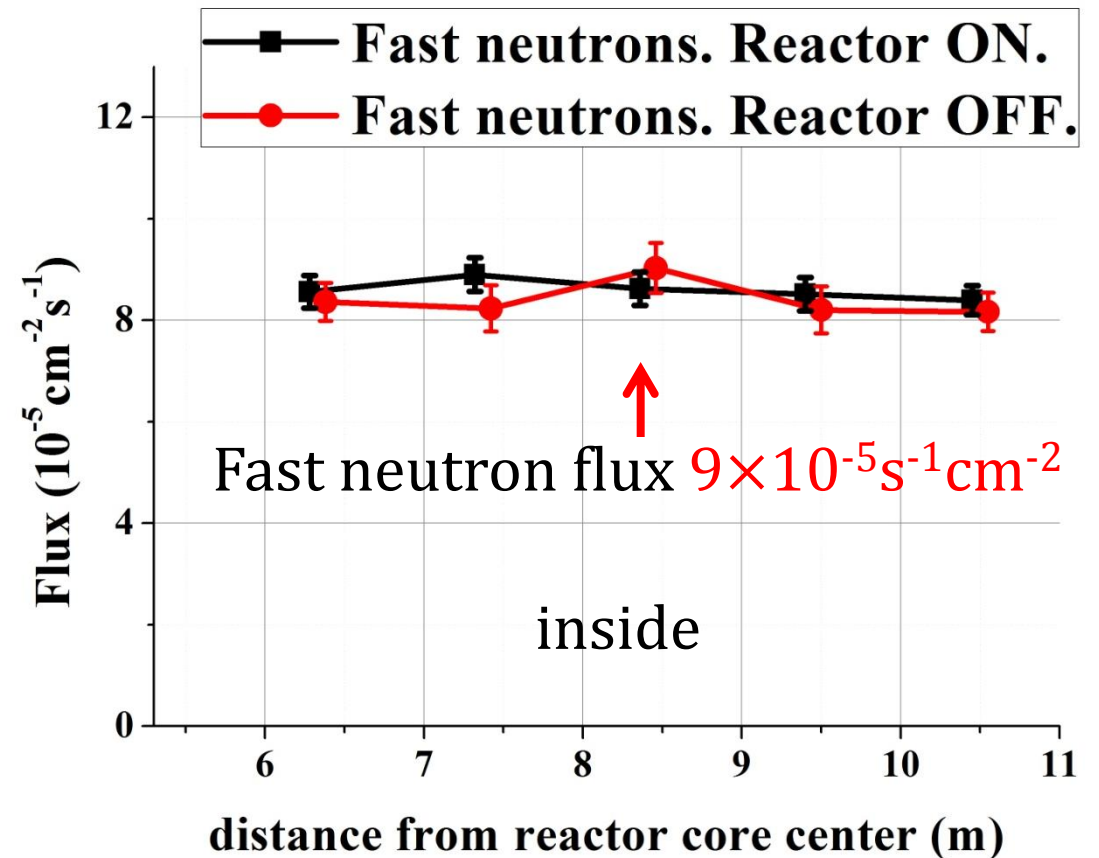
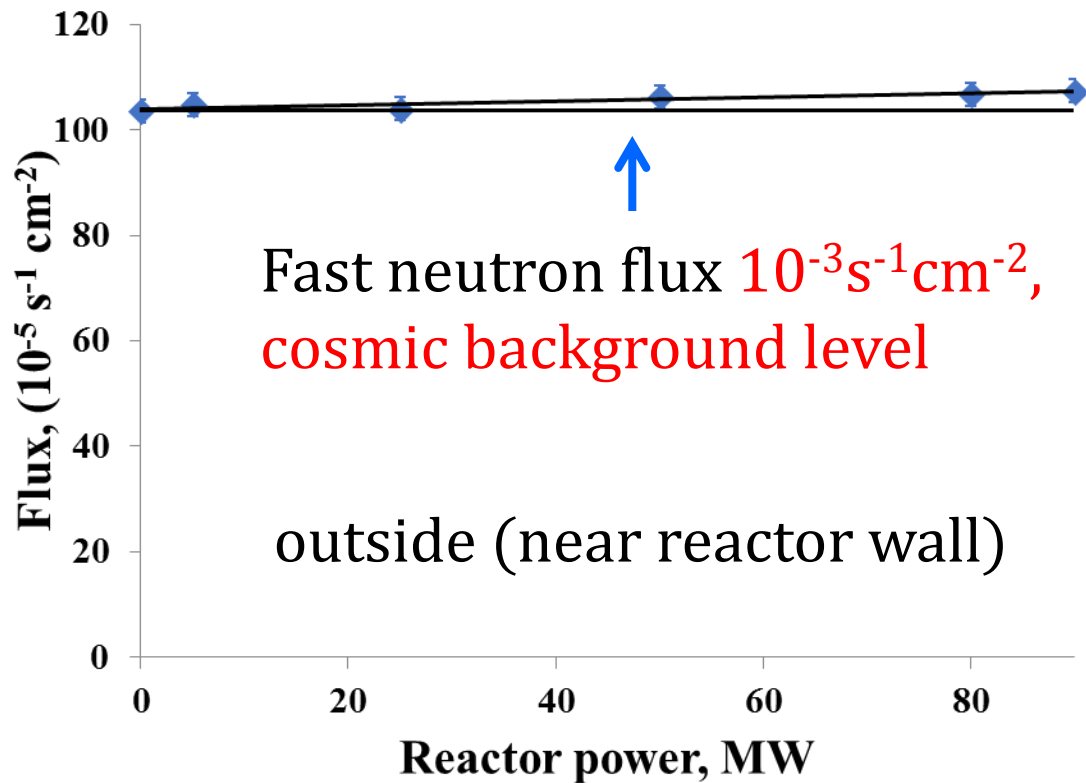


**Диапазон измерений потока реакторных
антинейтрино 6-12м**

Гамма фон внутри пассивной защиты **не зависит** ни от мощности реактора ни от расстояния от реактора



Фон быстрых нейтронов внутри пассивной защиты не зависит ни от мощности реактора ни от расстояния от реактора



**Фон быстрых нейтронов внутри пассивной защиты на порядок величины меньше чем снаружи.
Фон быстрых нейтронов снаружи пассивной защиты определяется космическим излучением и практически не зависит от мощности реактора.**

Достигнуто отсутствие значимой зависимости фона от расстояния и мощности реактора. В результате мы полагаем, что различие в реакторных сигналах ON -OFF появляется главным образом из-за потока антинейтрино при включение реактора.

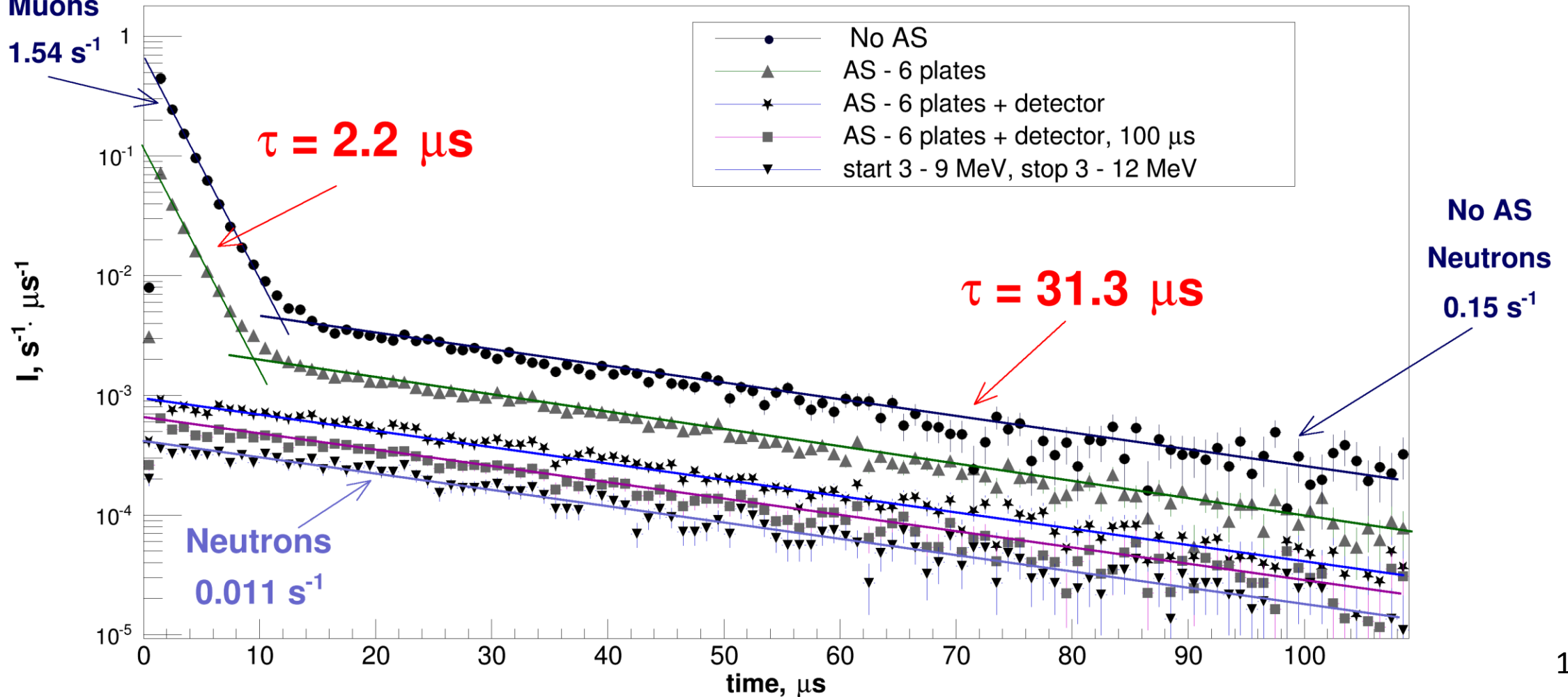
Но реактор СМ-3 расположен на поверхности Земли, и поэтому, космический фон является самой главной трудностью в проведении данного эксперимента.

Космический фон

Первая версия активной защиты подавила нейтронный фон на порядок величины

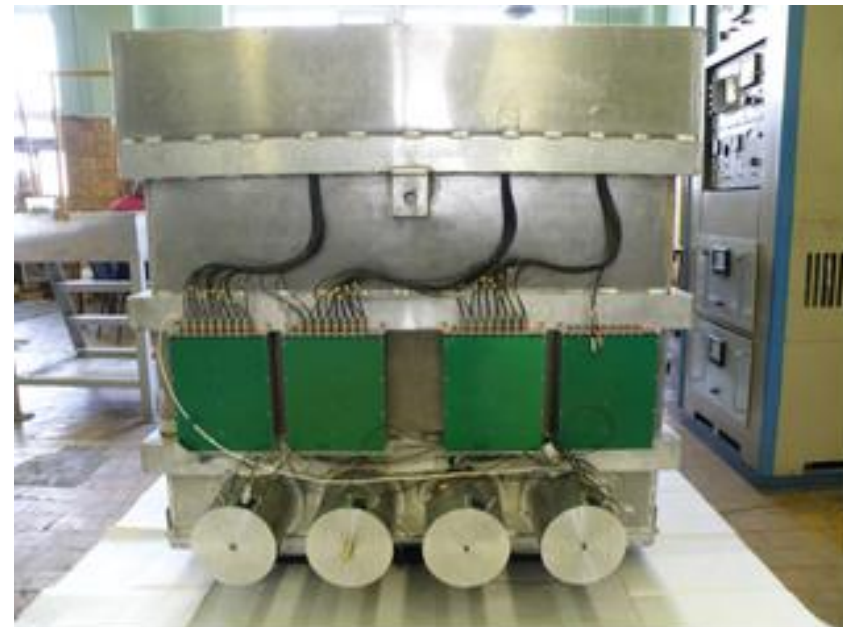
No AS
Muons
 1.54 s^{-1}

Time spectra for the 1st version of active shielding (AS) in different configuration.

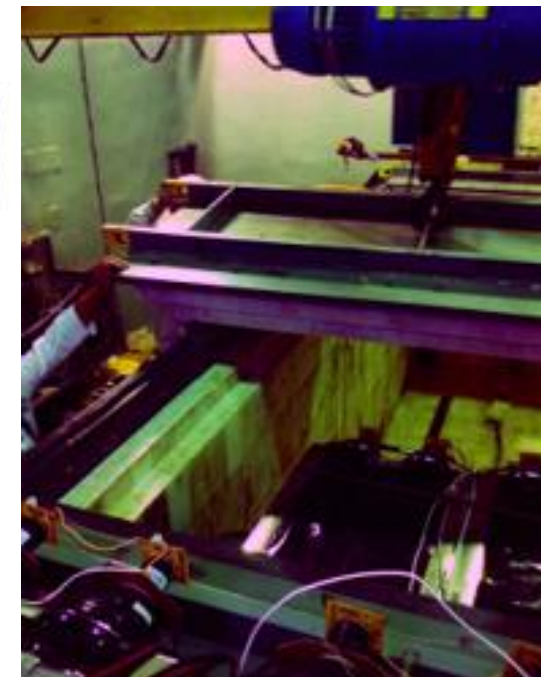
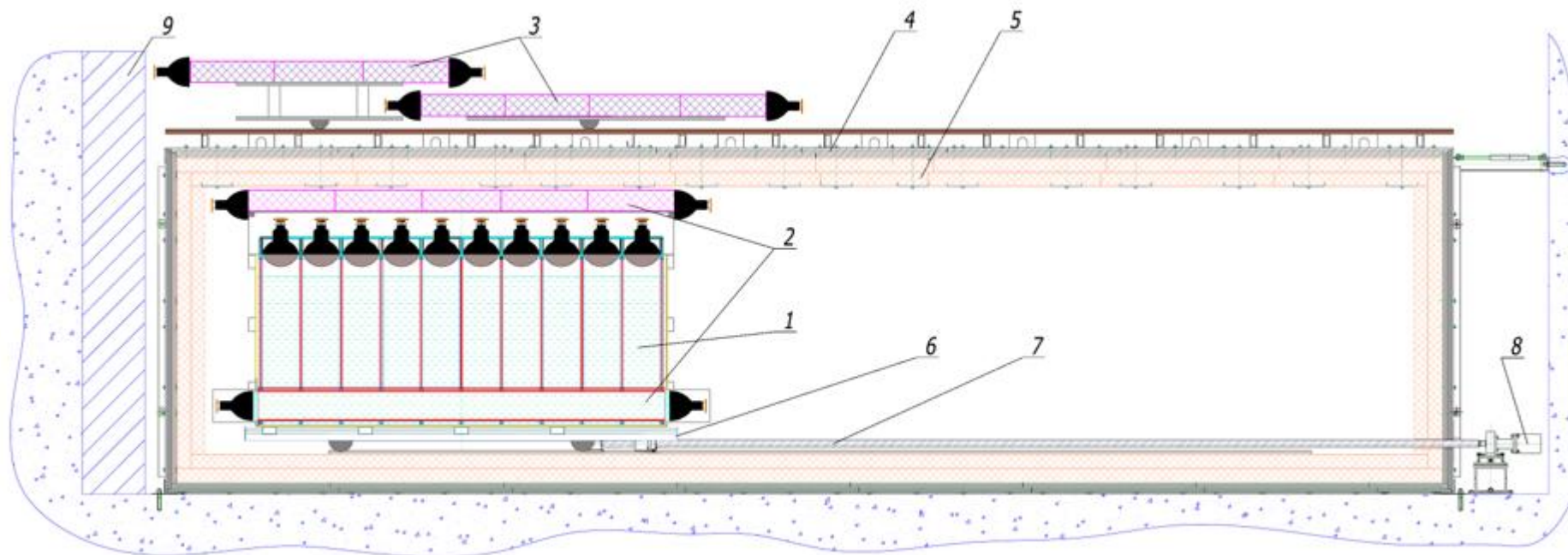


Создание полномасштабного детектора антинейтрино в ПИЯФ

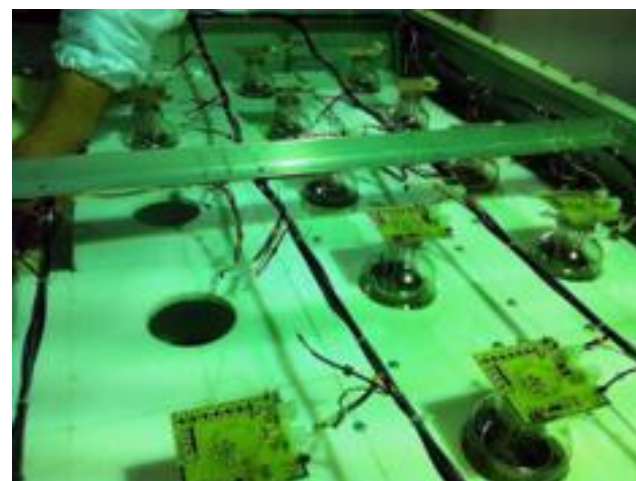
- Cell structure (50 cells)
- LAB-based Gd loaded (1g/l) LS
- Hamamatsu R5912 (35) and PMT 9354 (15) only from above
- Downside volume for active shielding



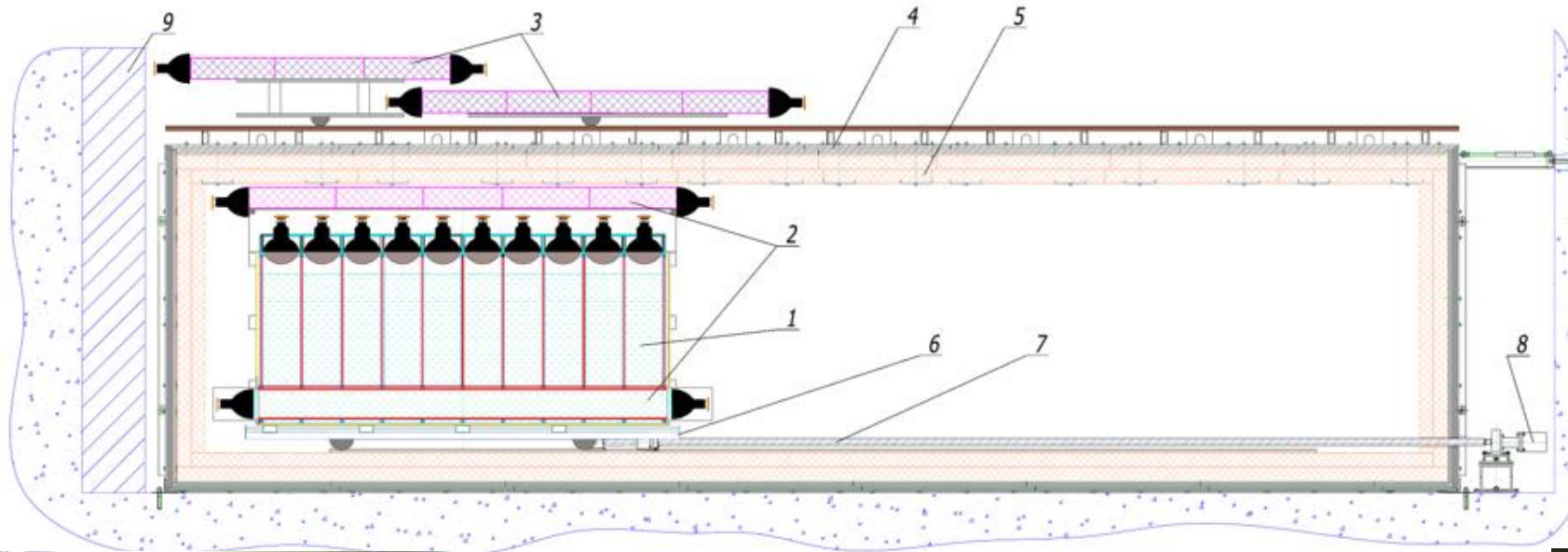
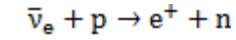
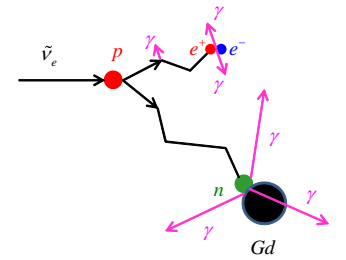
Установка полномасштабного детектора антинейтрино на реакторе СМ-3 НИИАР



1. детектор(5x10 секций)
2. внутренняя активная защита
3. внешняя активная защита
4. пассивная защита (сталь и свинец)
5. борированный полиэтилен
6. подвижная платформа
7. винт подачи
8. шаговый двигатель
9. пассивная защита от быстрых нейтронов реактора



Подвижный и спектрально чувствительный детектор антинейтрино



1. детектор(5x10 секций)
2. внутренняя ктивная защита
3. внешняя активная защита
4. сталь и свинец
5. борированный полиэтилен
6. подвижная платформа
7. винт подачи
8. шаговый двигатель
9. пассивная защита от быстрых нейтронов



Пассивное защита - 60 тонн

Нейтронный канал
← снаружи и
изнутри →



Прототип
детектора

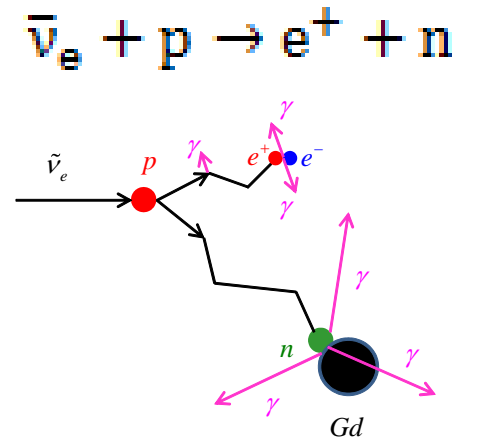
Полно-
масштабный
детектор



детектор
50 секций 0.235x0.235x0.85м3

Диапазон измерений составляет
6 - 12 метров

Полномасштабный детектор имеет объём жидкого сцинтиллятора 1.8 м³ (5x10 секций с размерами 0.225x0.225x0.85м³, заполненных сцинтилятором на высоту 0.70м). Детектор с сцинтиллятором с добавкой гадолиния концентрацией 0.1% предназначен для регистрации процессов обратного бета-распада (ОБР). Метод регистрации антинейтрино состоит в выделении коррелированной пары сигналов: мгновенного сигнала от позитрона и задержанного сигнала после захвата нейтрона гадолинием.



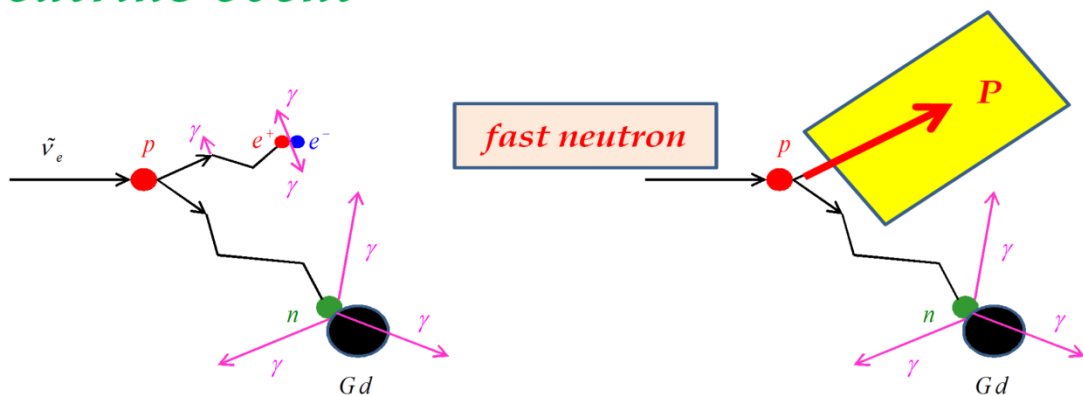
Первый и последний ряд детектора используется в качестве активной защиты и в тоже время в качестве пассивной защиты от быстрых нейтронов. Таким образом, объём сцинтиллятора, использующийся для измерений, составляет 1.42м³. Детектор имеет многосекционную структуру. Для производства измерений детектор может перемещаться в различные позиции на расстояние кратное размеру секции. В результате разные секции проходят через одинаковые расстояния от реактора за исключением краевых ситуаций на ближнем и дальнем расстояниях.

Секционирование детектора, проблема быстрых нейтронов, выделение нейтринного сигнала

The problem of fast neutrons

False event

Neutrino event

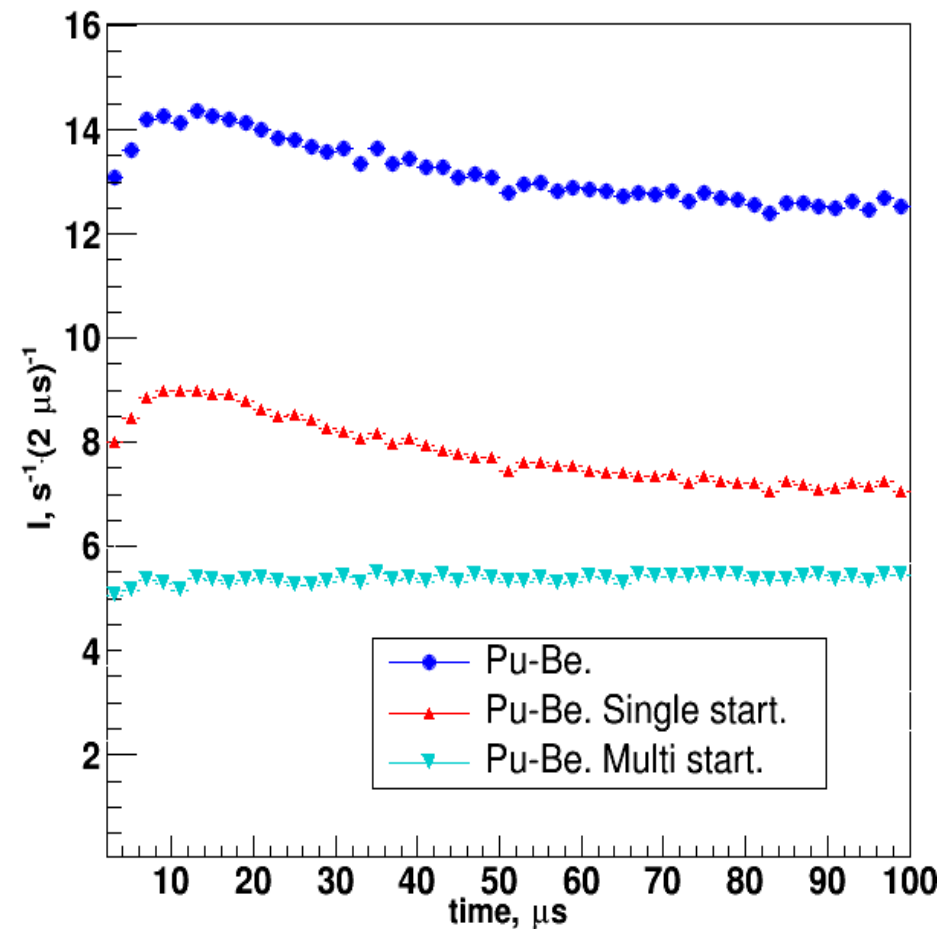


Neutron scattering imitate neutrino reaction

24 central and 16 side cells for full-scale detector

central cell	side cell	angular cell	in all cells
0.42	0.29	0.19	0.37

Тест с источником быстрых нейтронов



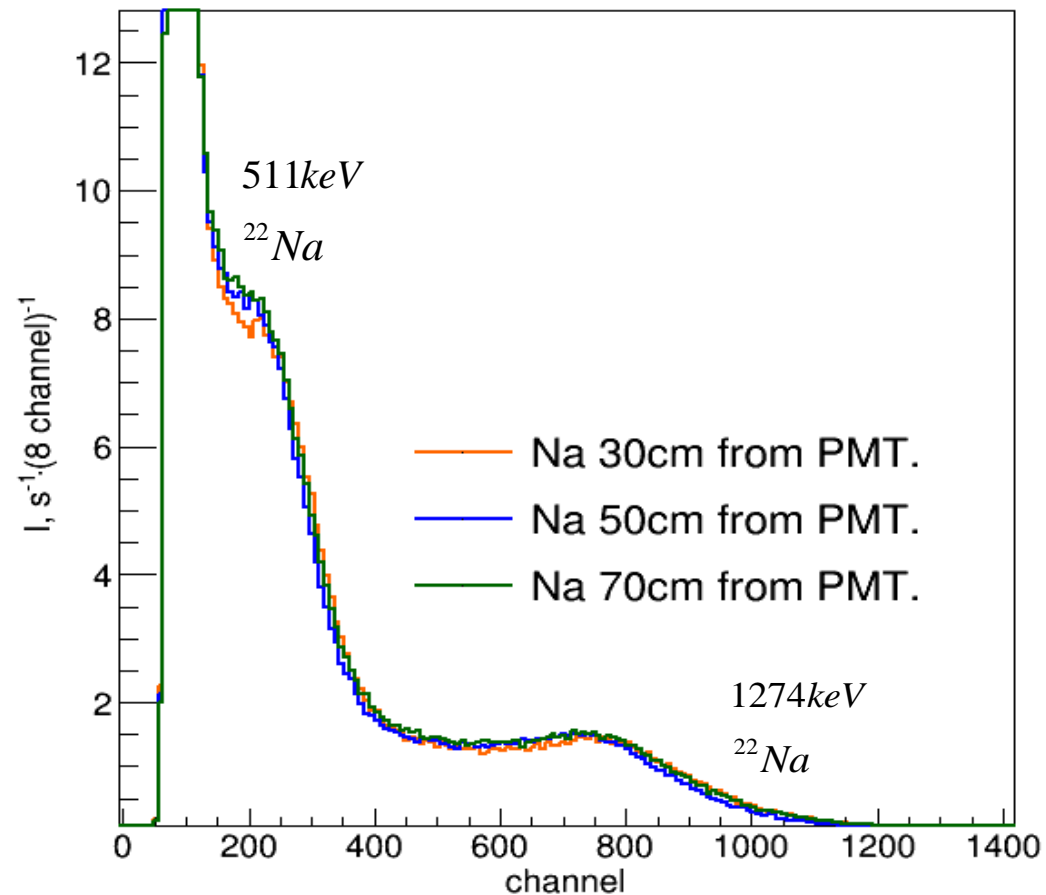
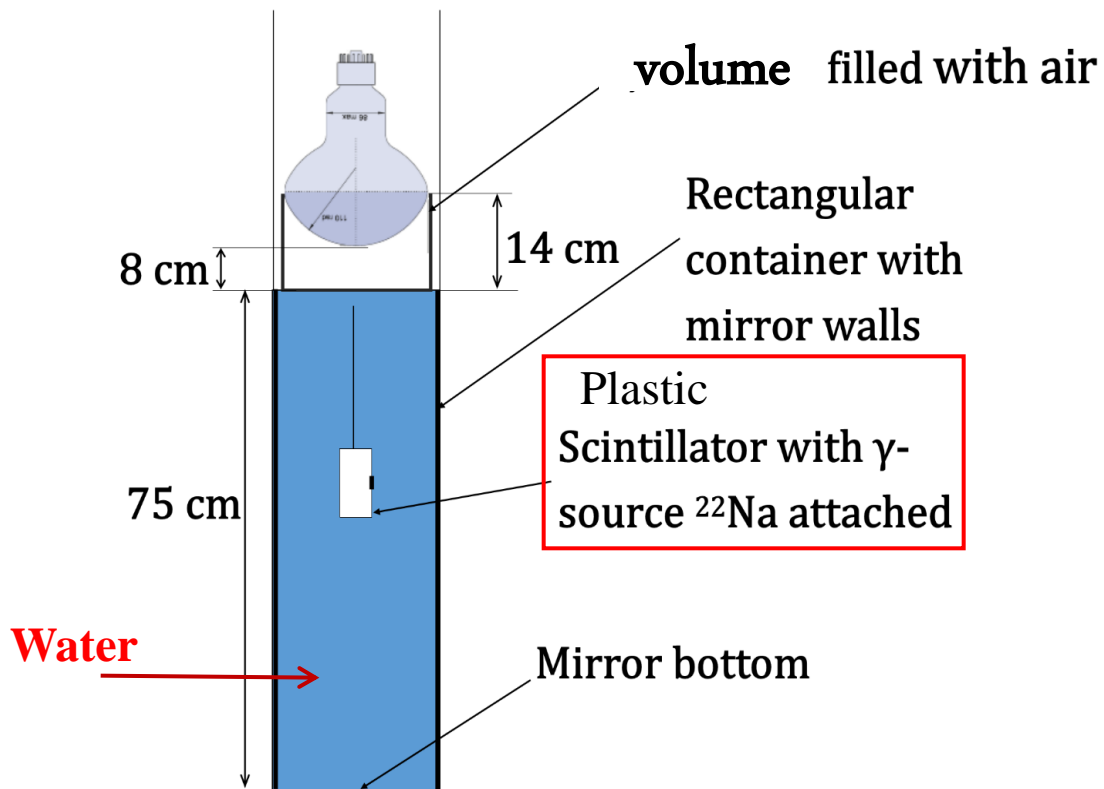
Средняя доля
мульти-стартов для
полномасштабного детектора
(0.37 ± 0.04)

Монте Карло расчёты показывают, что **63%** мгновенных сигналов могут быть зарегистрированы в одной секции и только **37%** мгновенных сигналов будут зарегистрированы в соседних секциях. В наших измерениях разностный сигнал (реактор включён - реактор выключен) суммированный по всем расстояниям составил **$(37 \pm 4)\%$** мульти секционных событий и **$(63 \pm 7)\%$** односекционных событий.

В рамках имеющейся точности это соотношение позволяет нам интерпретировать записанные события как нейтринные.

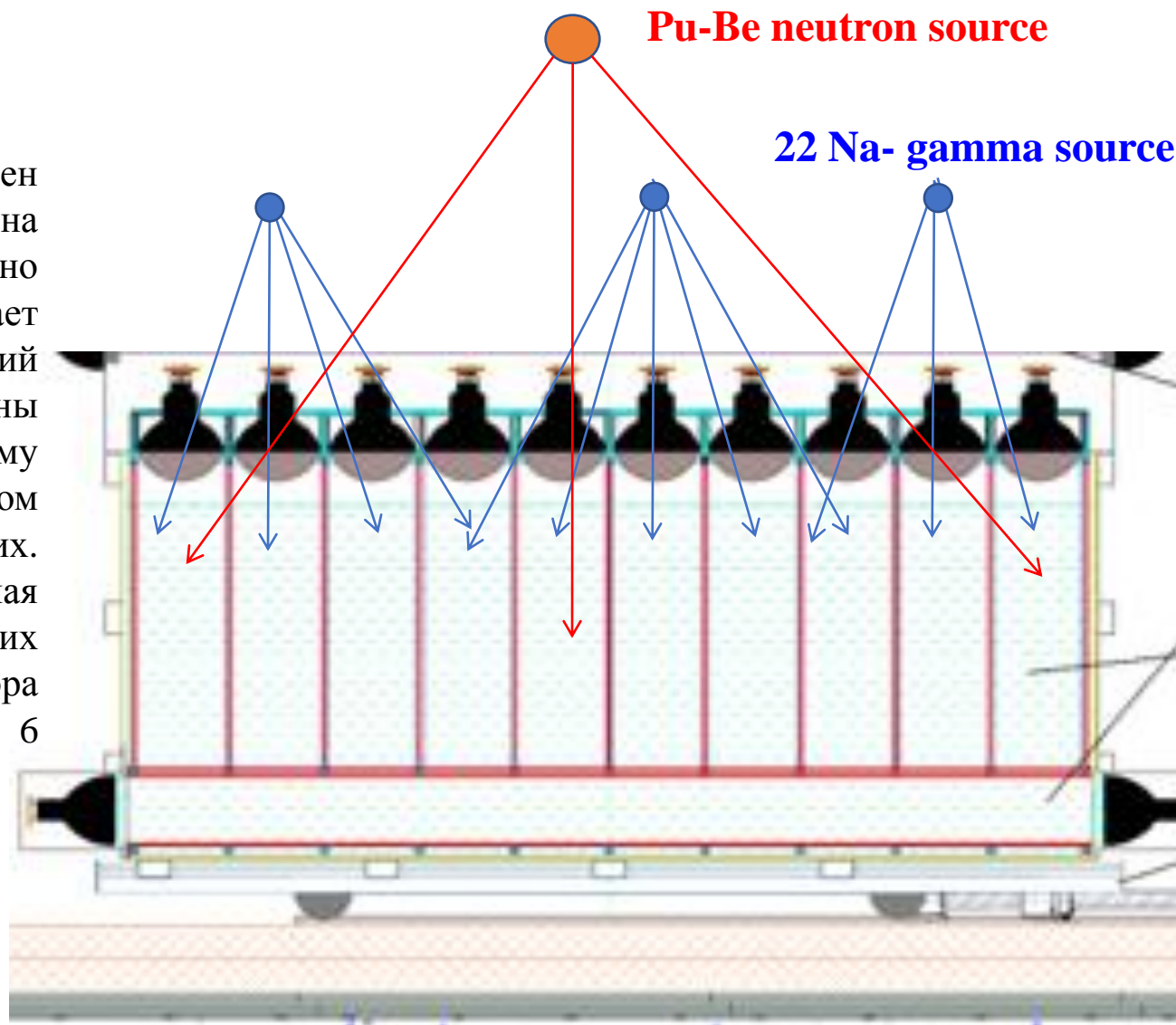
Энергетическая калибровка на модели одной секции

Мы используем эффект полного внутреннего отражения света на границе сцинтиллятор - воздух при малых углах падения, чтобы улучшить сбор света с разных расстояний. Поэтому калибровка может быть сделана, используя источники, расположенные снаружи – над детектором.



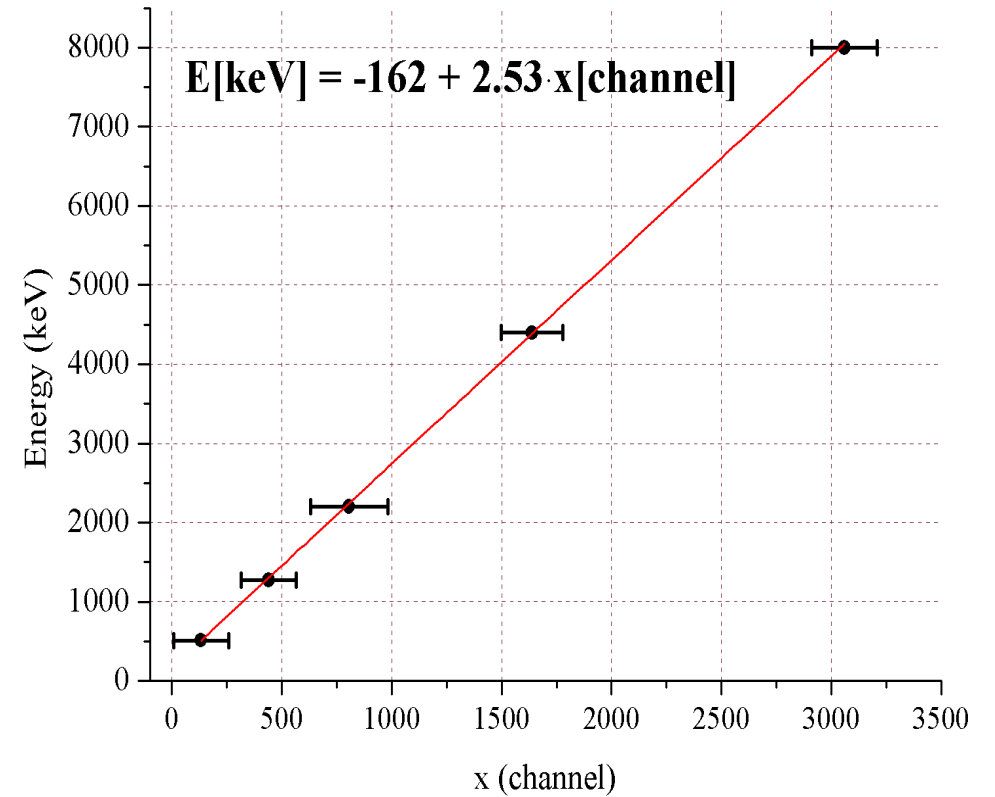
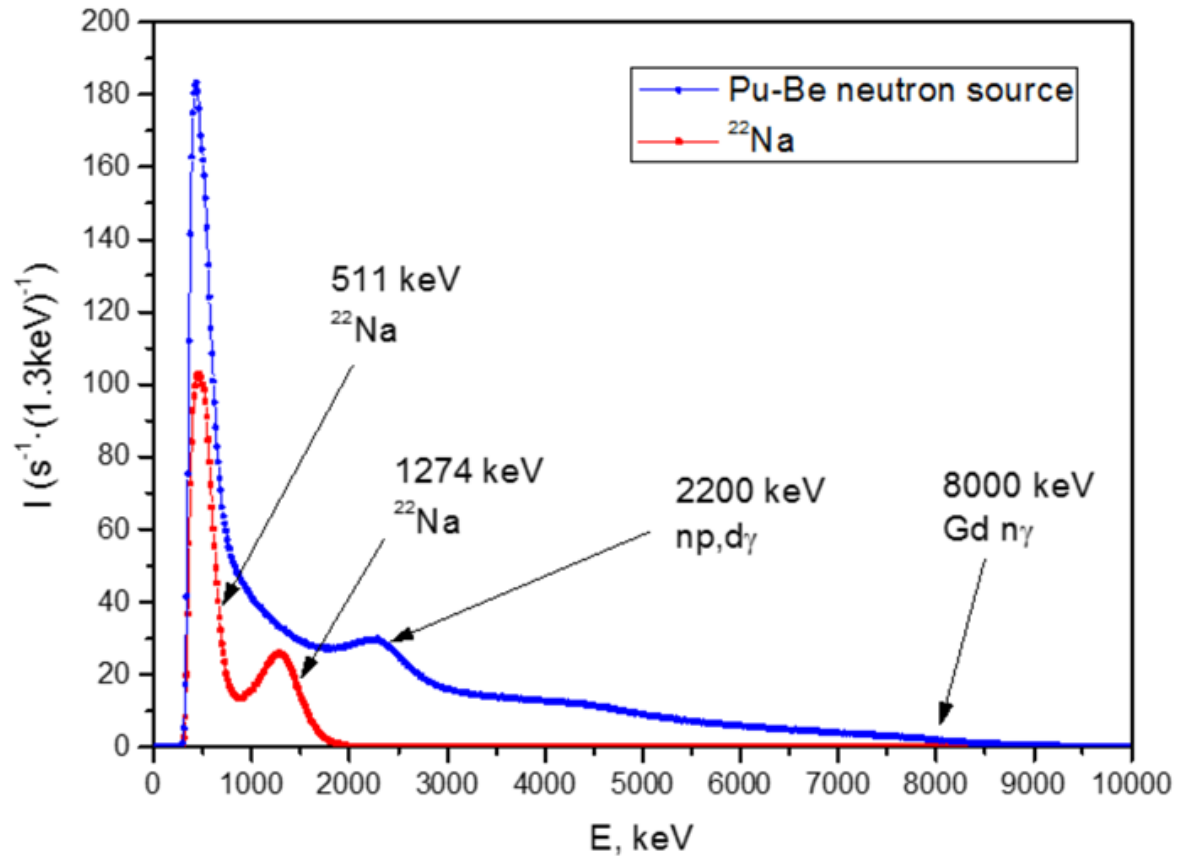
Энергетическая калибровка полномасштабного детектора

Источник ^{22}Na установлен выше детектора на расстоянии приблизительно 0.8 метра, и облучает приблизительно 16 секций сразу. PMTs были приведены к одному энергетическому масштабу, выбором напряжения на них. Проводилась одновременная калибровка нескольких секций. Для всего детектора использовались только 6 положений источника.



Нейтронный источник облучал все секций сразу. Этот метод имеет преимущество относительно использованию внутренних источников. Трудность калибровки при энергии 8MeV состоит в том, что кванты от захвата нейтрона гадолинием не могут быть поглощены тем же самым рядом. Поэтому калибровка датчика приходится вести по размытому краю спектра.

Энергетическая калибровка полномасштабного детектора

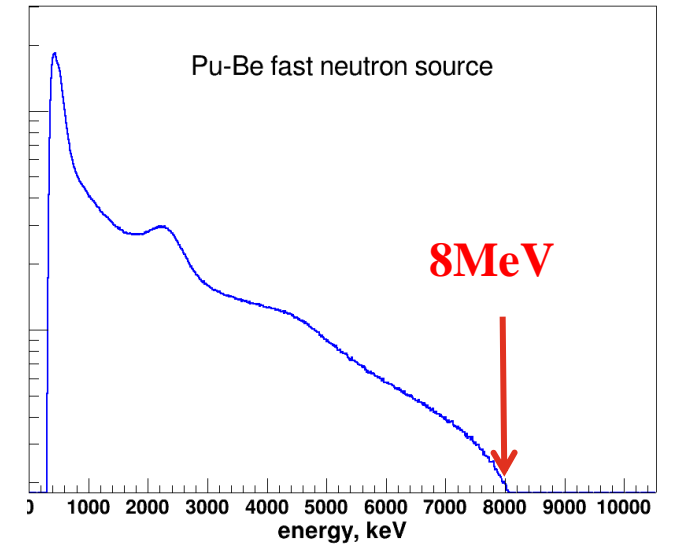
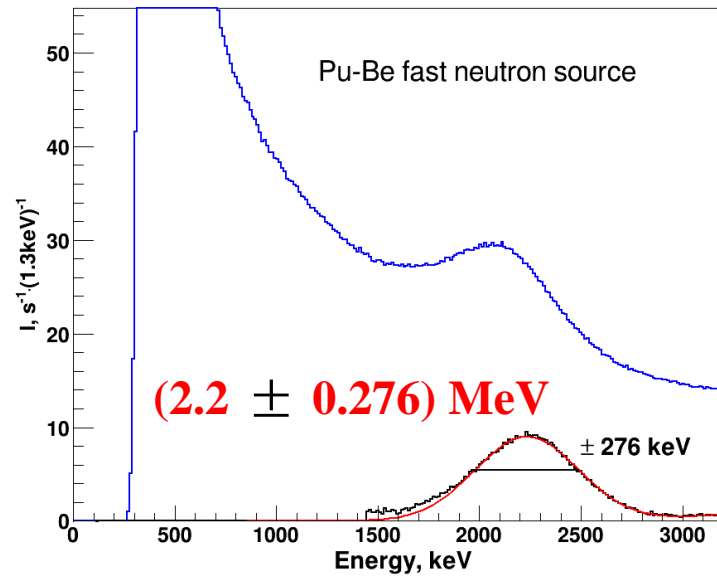
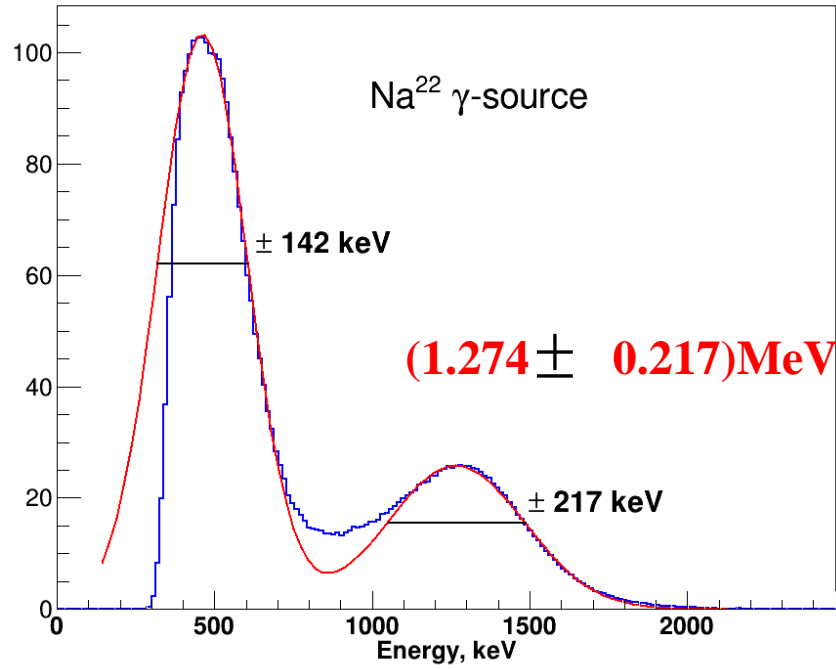


Регистрация позитронов включает неизбежную потерю части энергии гамма квантов 511keV из-за порога регистрации в смежной секции. поэтому мы должны увеличить ошибки до ± 250 кэВ.

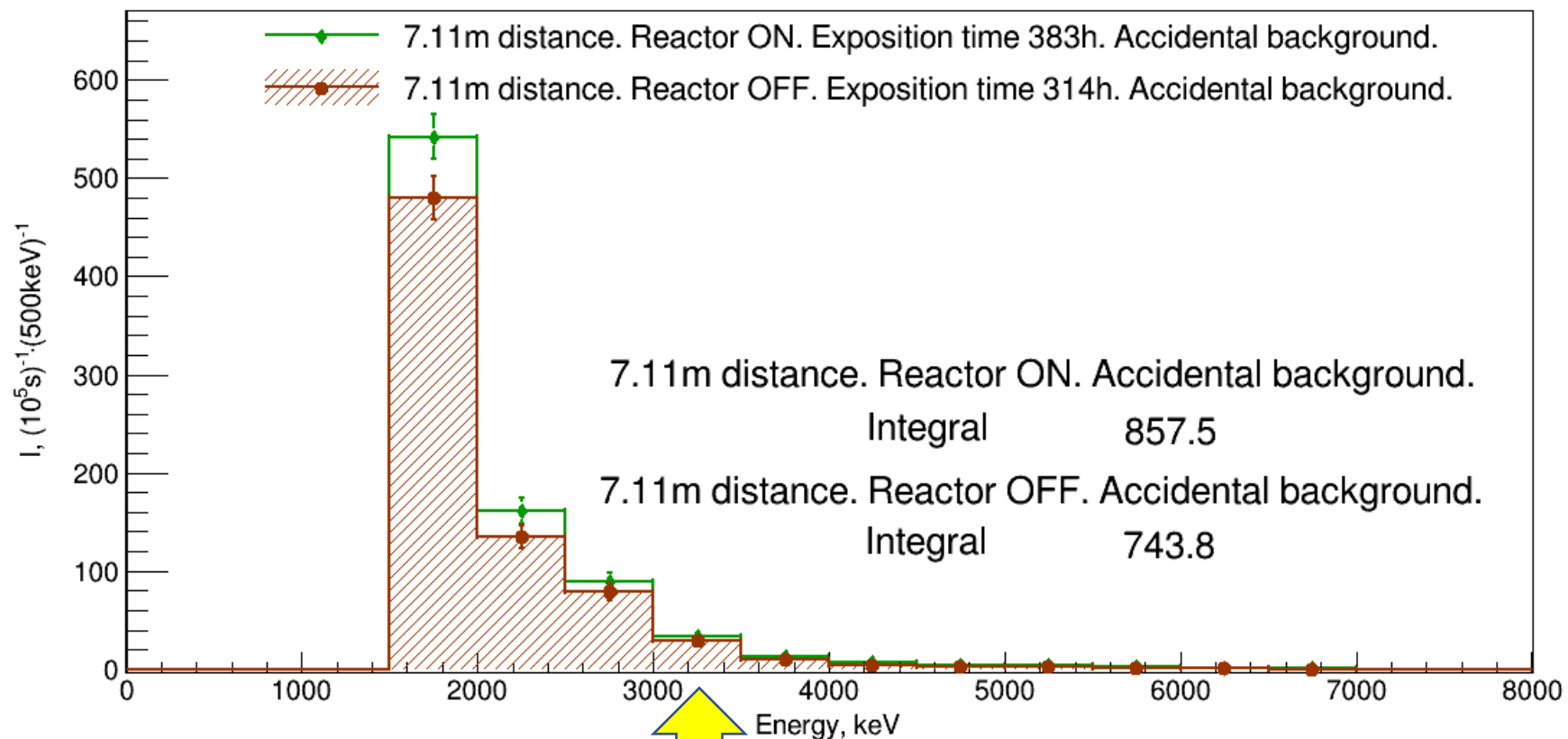
Эта – калибровка должна использоваться при обработке данных.

Энергетическая калибровка полномасштабного детектора

(0.511 ± 0.142) MeV



Фон случайных совпадений практически не зависит от реактора, но он довольно большой при низких энергиях.

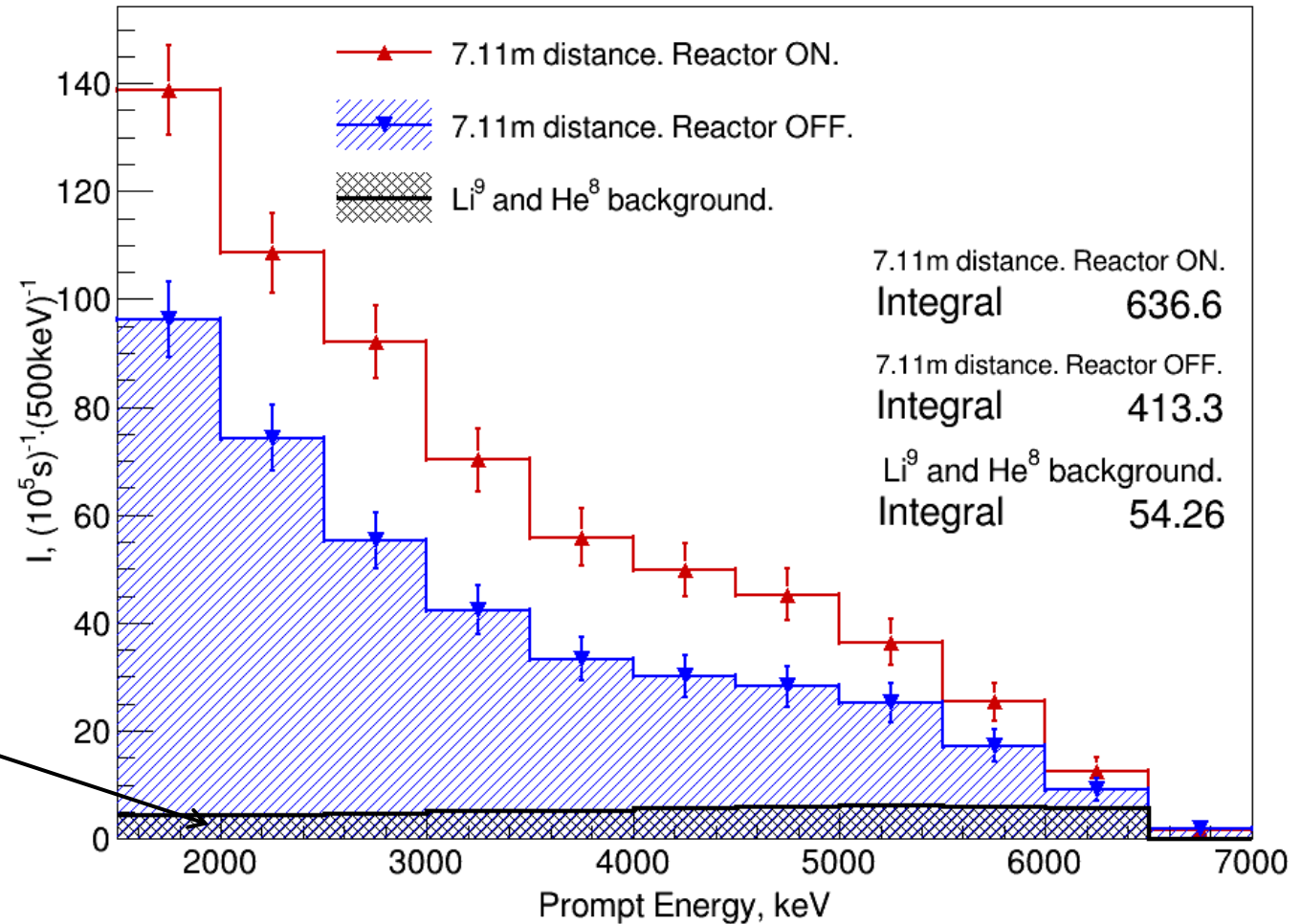


Threshold for delayed coincidences 3.2MeV

Энергетический спектр и отношение сигнал фон

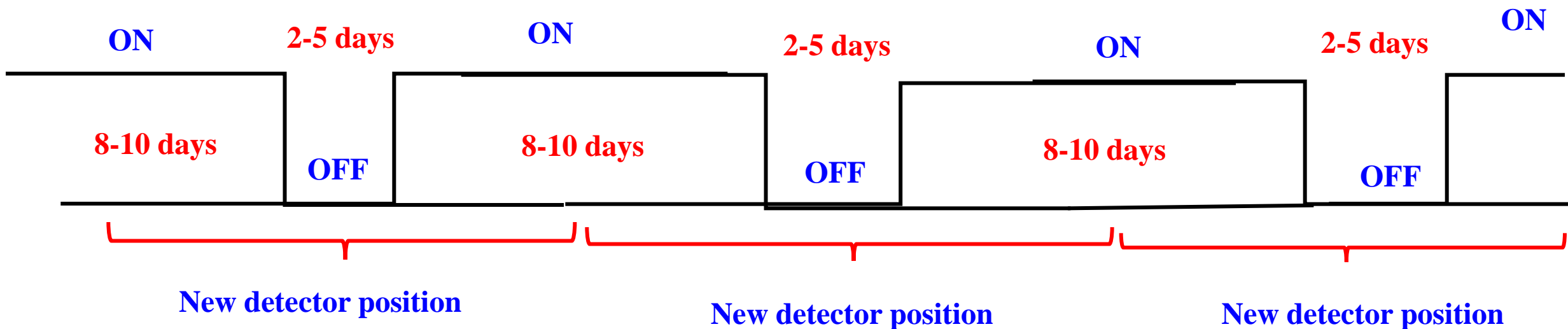
Reactor ON and OFF spectra after
2 months exposition at 7.11m
213 neutrino events/10⁵ s
(ON - OFF)
signal /background ratio 0.54

Unavoidable background of Li⁹
and He⁸ is 54 events/10⁵s

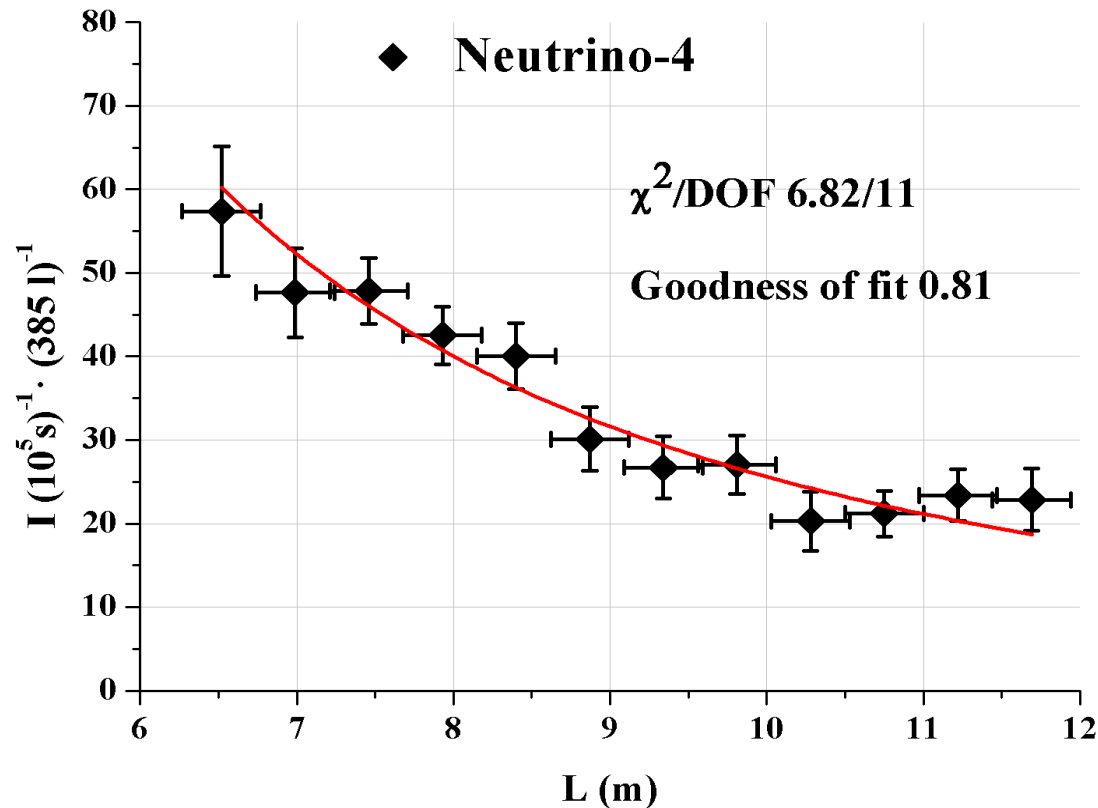


ON
90 MW

Измерения с полномасштабным детектором были начаты в июне 2016 года. Измерения с включённым реактором проводились в течение **480 дней**, а с выключенным реактором в течение **278 дней**. Всего реактор был включён и выключен **58 раз**.



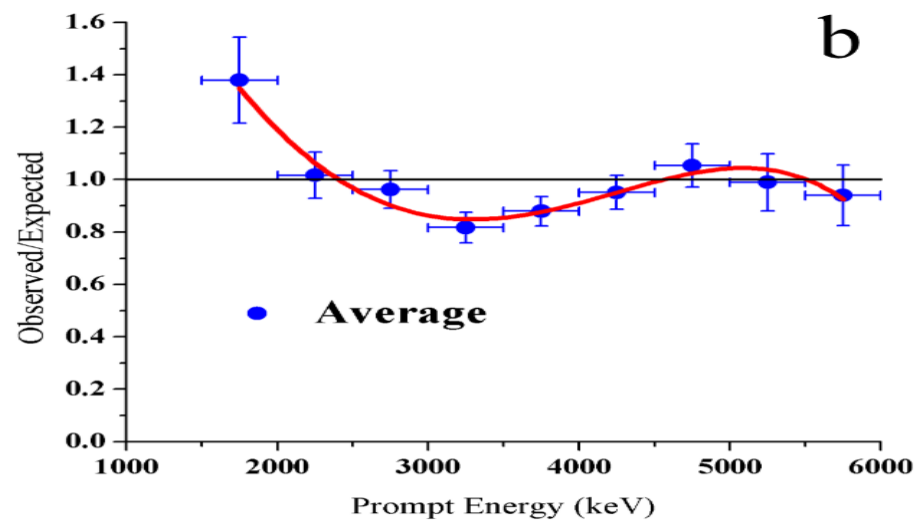
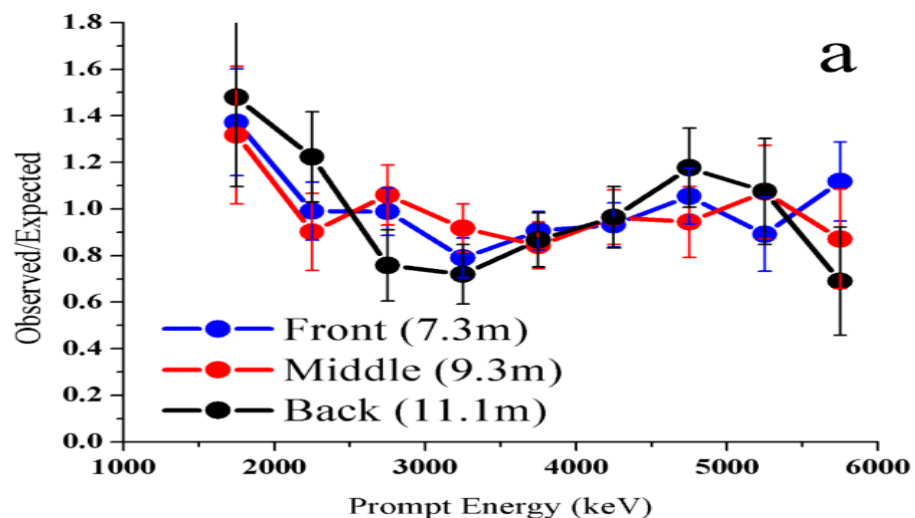
Результаты измерений разности скорости счёта нейтриноподобных событий для полномасштабного детектора как зависимость потока антинейтрино от расстояния до центра активной зоны реактора.



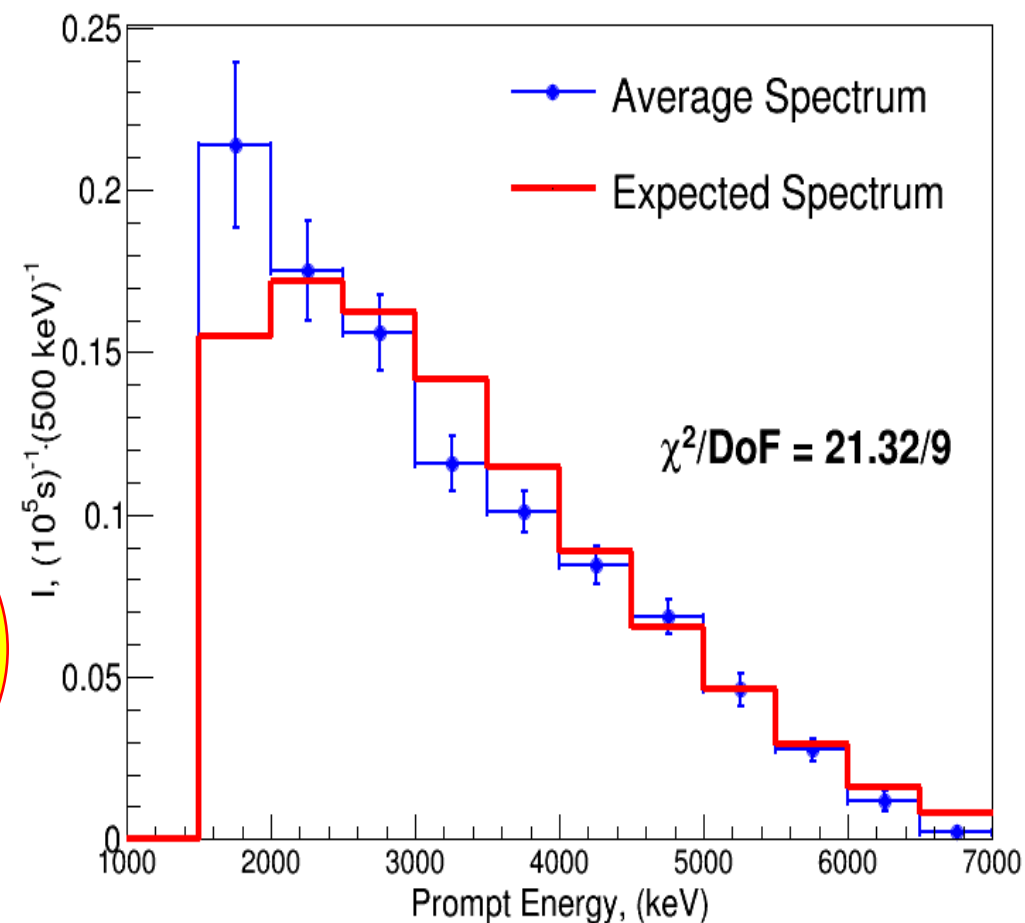
Аппроксимация экспериментальной зависимости функцией A/L^2 даёт удовлетворительный результат. Значимость подгонки функцией A/L^2 составляет 81%. Поправка на конечные размеры активной зоны реактора и размера детекторных секций является незначительной – 0.3%, а поправка на несовпадение оси перемещения детектора и направления на центр активной зоны реактора также незначительна и составляет 0.6%.

Чтобы наблюдать осцилляции, анализа зависимости от расстояния без энергетического спектра недостаточно, т.к. происходит спектральное усреднение.

а) Отношение экспериментальных спектров мгновенных сигналов к расчетным спектрам из Монте Карло вычислений для трёх расстояний: 7.3м, 9.3м и 11.1м, б) усреднённая по всем расстояниям кривая с подгонкой этой зависимости полиномом (красная кривая).



Проблемы с энергетическим спектром



Спектр мгновенных сигналов для всего цикла измерений, объединенный для всех расстояний (среднее расстояние 8.6 м), красной гистограммой показан спектр, полученный в результате Монте-Карло моделирования при использовании антинейтринного спектра от осколков деления ^{235}U [1], так как реактор СМ-3 работает на высокообогащенном топливе.

Проблемы с энергетическим спектром

1. одной из причин расхождения могут быть реакторные расчёты, причём с учётом дефицита 0.934 экспериментального потока антинейтрино по отношению к расчётному, обсуждать следует не «бамп» в области 5 МэВ, а «яму» в области 3 МэВ.

2. нельзя исключать возможность систематических ошибок при калибровке энергетической шкалы, а также в Монте-Карло расчётах спектра мгновенных сигналов в области малых энергий. Здесь есть трудность точной регистрации энергии квантов аннигиляции (511keV) соседними секциями. Поэтому точка в спектре при энергии 1.5 МэВ является наиболее проблематичной.

3. нельзя исключить влияние осцилляций с большими значениями Δm_{14}^2 т.к. был выбран интервал усреднения 2 метра. При таком усреднении и значениях $\Delta m_{14}^2 > 5eV^2$ будет наблюдаться подавление спектра с фактором $1 - 0.5 \sin^2 2\theta_{14}$, причём оно начнётся с малых энергий.

Вывод: Таким образом, необходимо найти способ анализа экспериментальных данных на параметры осцилляций, когда точное знание спектра не является критичным.

Модельно-независимый метод анализа экспериментальных данных

Вероятность исчезновения антинейтрино

$N(E_i, L_k)$

Количество
антинейтринных
событий

$$P(\tilde{\nu}_e \rightarrow \tilde{\nu}_e) = 1 - \sin^2 2\theta_{14} \sin^2 \left(1.27 \frac{\Delta m_{14}^2 [\text{eV}^2] L [\text{m}]}{E_{\tilde{\nu}} [\text{MeV}]} \right) \quad (1)$$

Метод анализа экспериментальных данных

$$R_{i,k}^{\text{exp}} = \frac{N(E_i, L_k) L_k^2}{K^{-1} \sum_k N(E_i, L_k) L_k^2} = \frac{[1 - \sin^2 2\theta_{14} \sin^2 (1.27 \Delta m_{14}^2 L_k / E_i)]}{K^{-1} \sum_k [1 - \sin^2 2\theta_{14} \sin^2 (1.27 \Delta m_{14}^2 L_k / E_i)]} = R_{i,k}^{\text{th}} \quad (2)$$

Можно сделать модельно независимый анализ, используя соотношение (2), где в числителе стоит счёт антинейтринных событий с коррекцией на геометрический фактор $1/L^2$, а в знаменателе его среднее значение по всему диапазону расстояний.

$$\sum_{i,k} [(R_{i,k}^{\text{exp}} - R_{i,k}^{\text{th}})^2 / (\Delta R_{i,k}^{\text{exp}})^2] = \chi^2(\sin^2 2\theta_{14}, \Delta m_{14}^2)$$

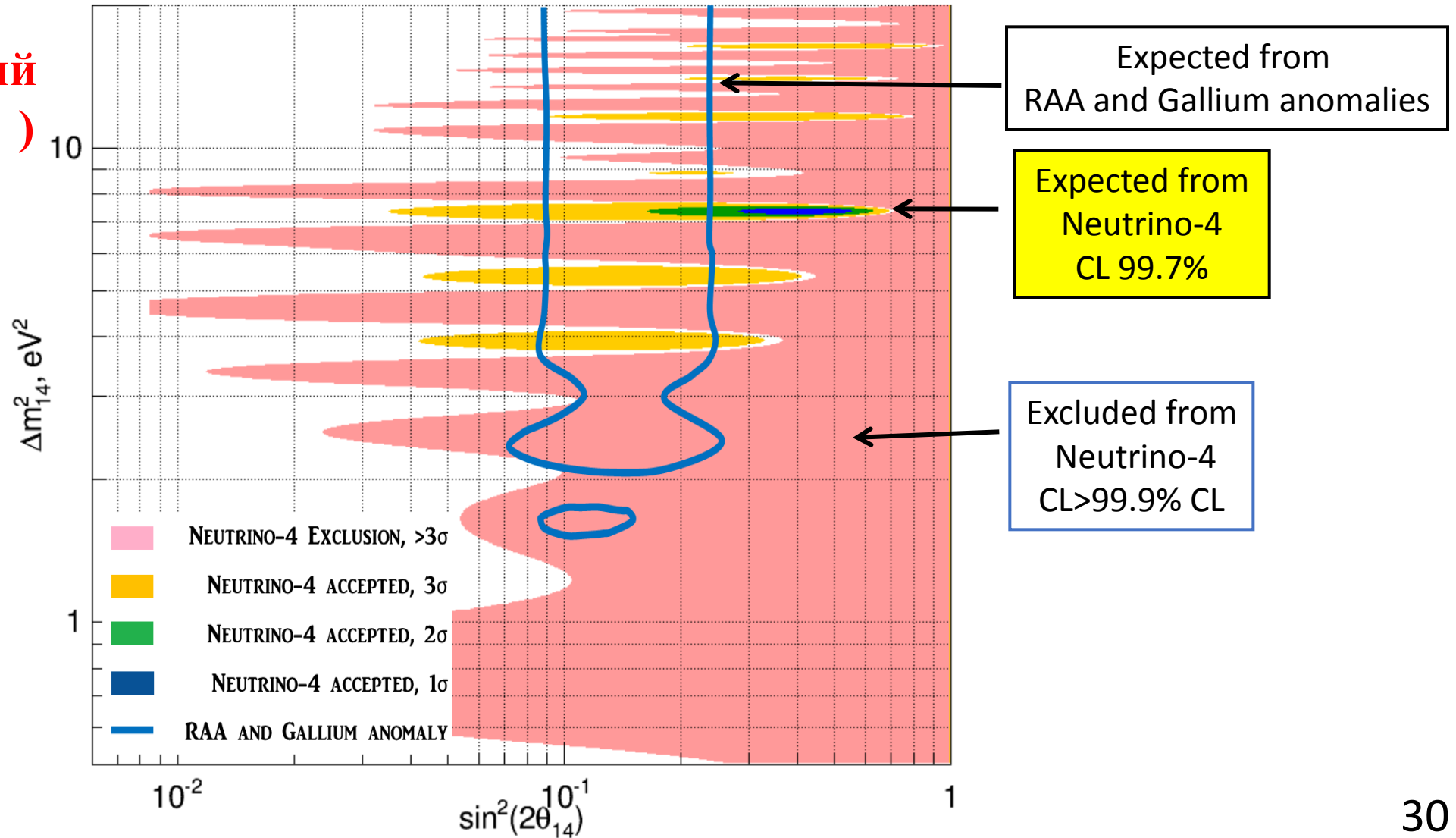
Результаты анализа на оптимальные параметры Δm_{14}^2 и $\sin^2 2\theta_{14}$ методом χ^2

$$\sum_{i,k} [(R_{i,k}^{\text{exp}} - R_{i,k}^{\text{th}})^2 / (\Delta R_{i,k}^{\text{exp}})^2] = \chi^2(\sin^2 2\theta_{14}, \Delta m_{14}^2)$$

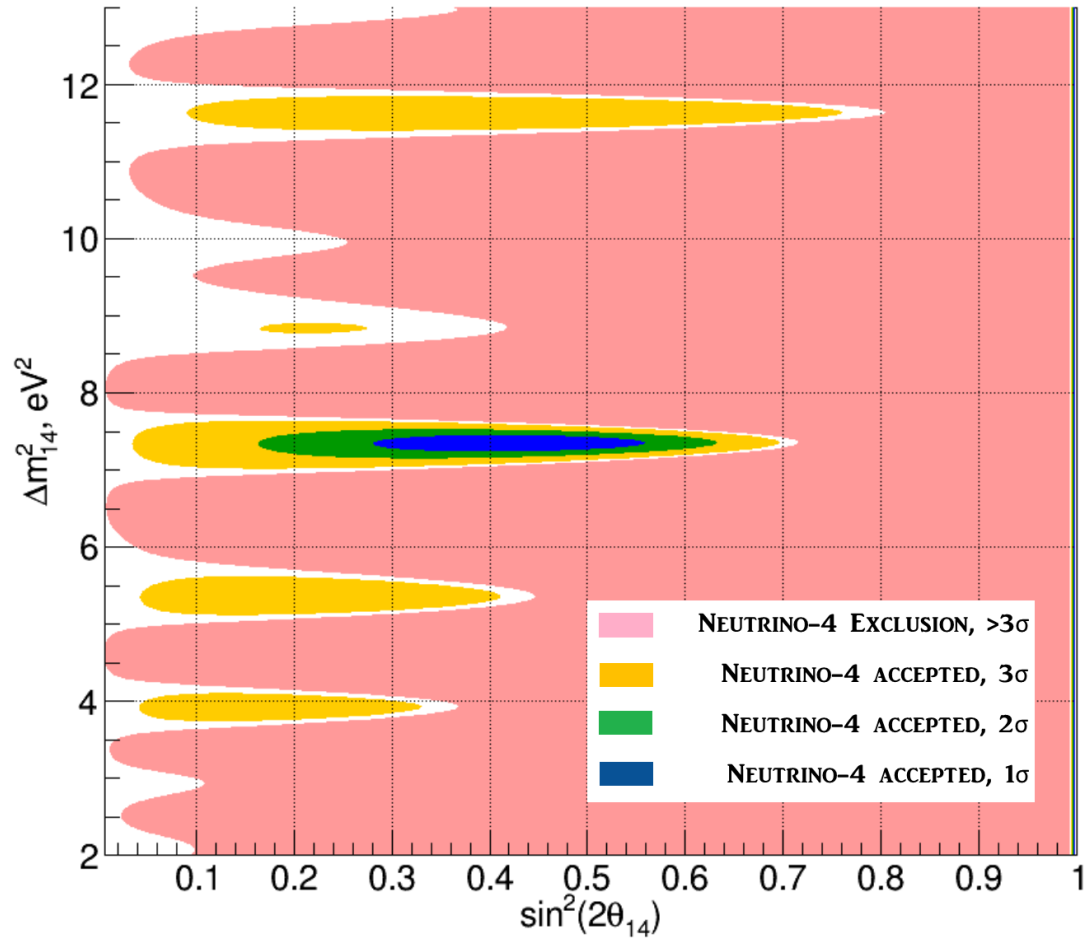
Мы наблюдаем эффект осцилляций с С.Л. 99,7% (3σ) при:

$$\Delta m_{14}^2 \approx 7 \text{eV}^2$$

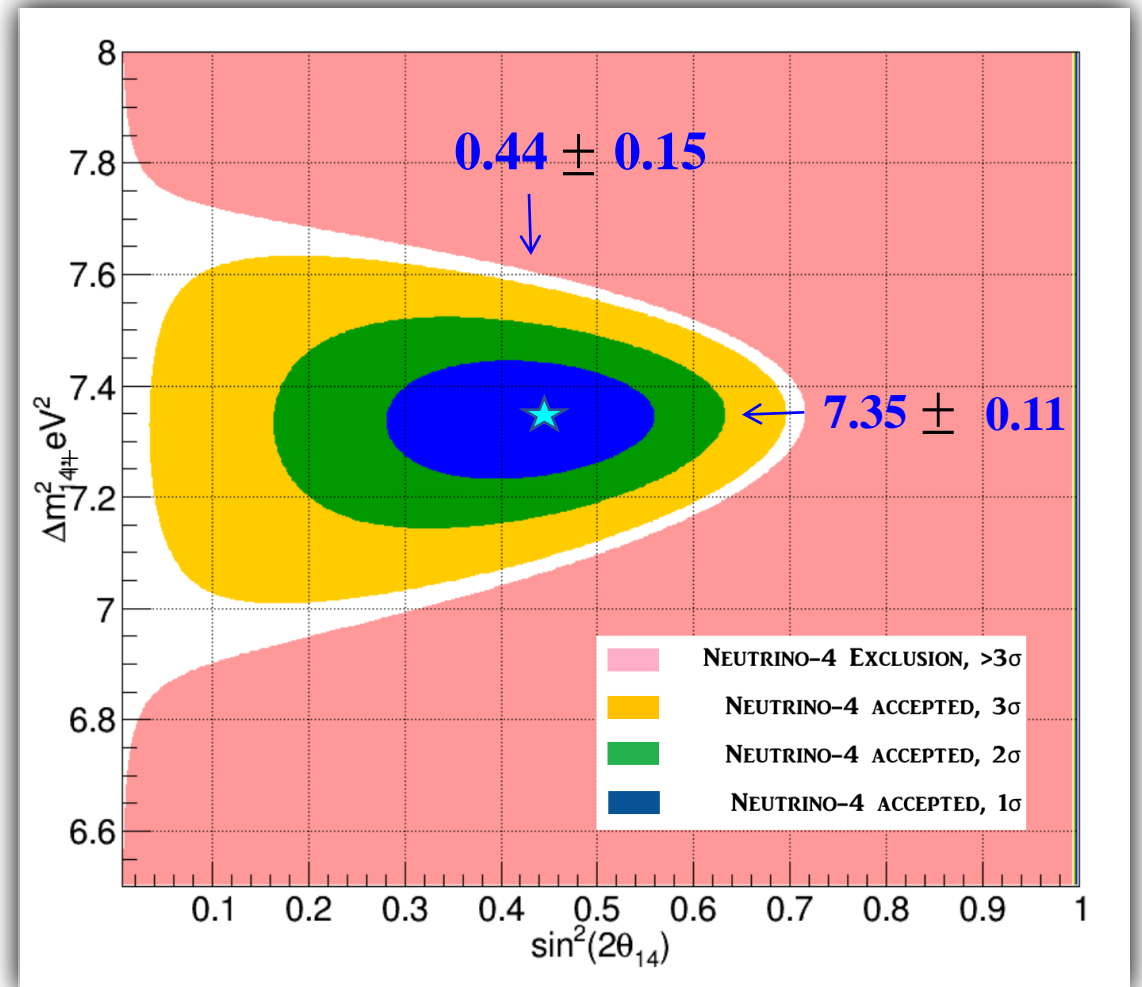
$$\sin^2 2\theta_{14} \approx 0.4$$



Результаты анализа на оптимальные параметры Δm_{14}^2 и $\sin^2 2\theta_{14}$ методом χ^2



область вокруг центральных значений в линейном масштабе и с большим увеличением



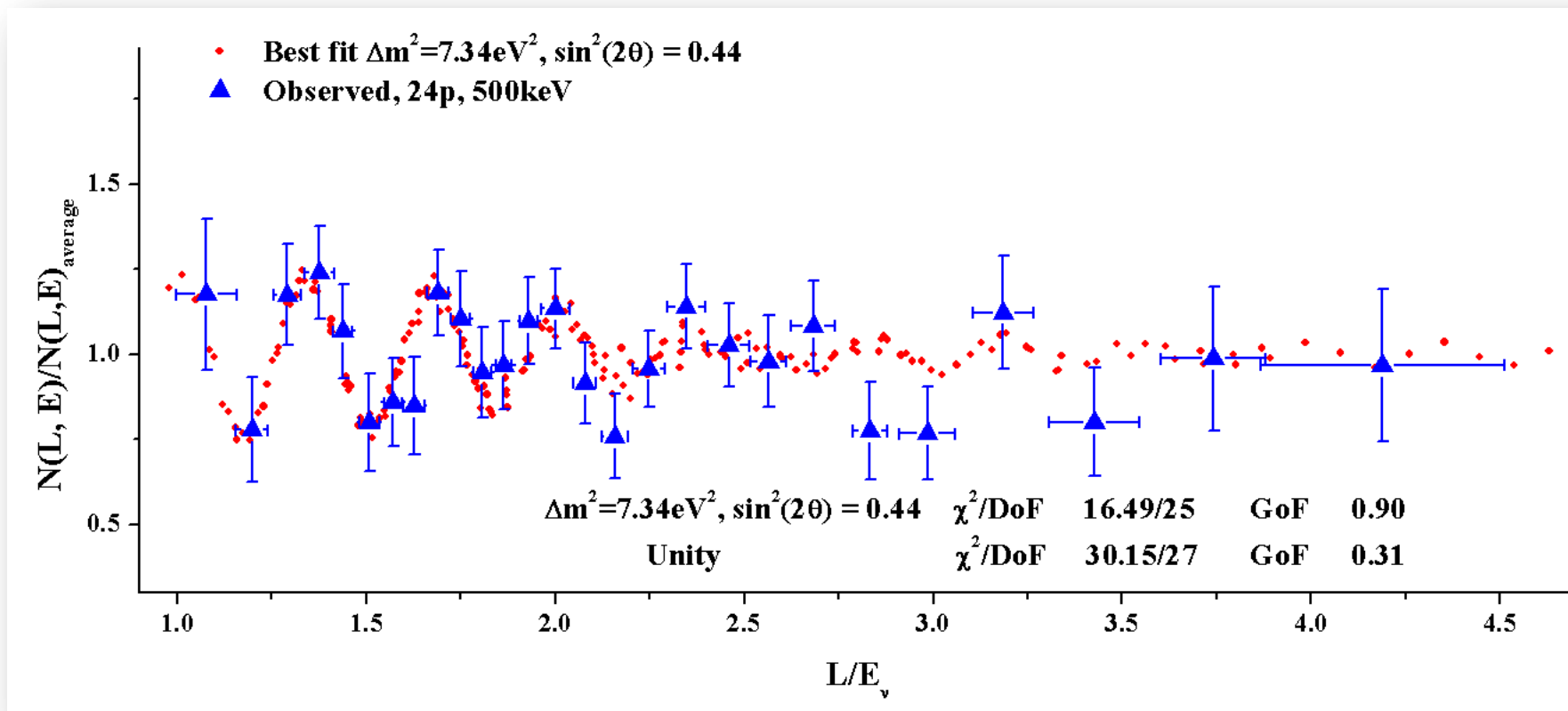
центральная область с ещё большим увеличением

Метод когерентного сложения результатов измерений, благодаря выборке данных по переменной L/E , даёт возможность прямого наблюдения антинейтринных осцилляций.

Метод когерентного сложения результатов измерений, благодаря выборке данных по переменной L/E , даёт возможность прямого наблюдения антинейтринных осцилляций.

$$P(\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e) = 1 - \sin^2 2\theta_{14} \sin^2 \left(1.27 \frac{\Delta m_{14}^2 [\text{eV}^2] L [\text{m}]}{E_{\bar{\nu}} [\text{MeV}]} \right) \quad (1)$$

Поскольку эффект осцилляций зависит от отношения L/E , как видно из формулы (1), то целесообразно провести выборку экспериментальных результатов по этому параметру.



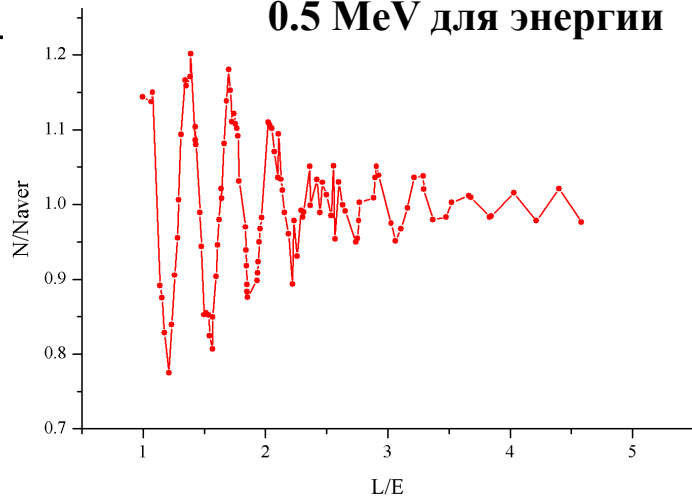
Сравнение синих экспериментальных треугольников и красных расчетных точек с оптимальными параметрами осцилляций.

Ожидаемый эффект при разных интервалах для расстояния и для энергии (правая часть уравнения 2)

$$\Delta m_{14}^2 \approx 7 \text{эВ}^2$$

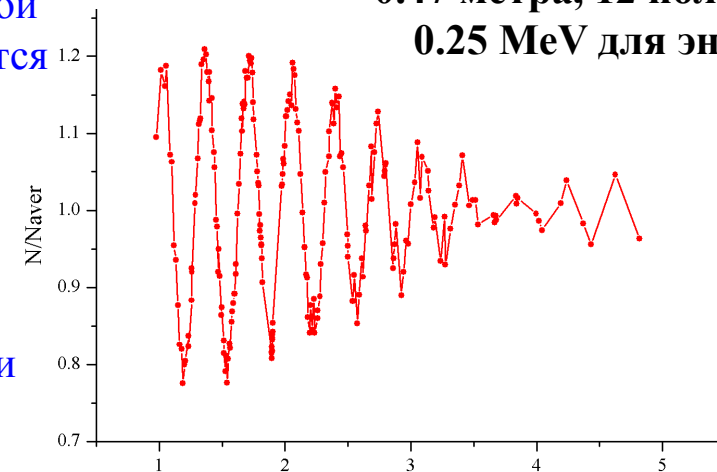
$$\sin^2 2\theta_{14} \approx 0.4$$

**0.47 метра, 12 положений,
0.5 MeV для энергии**

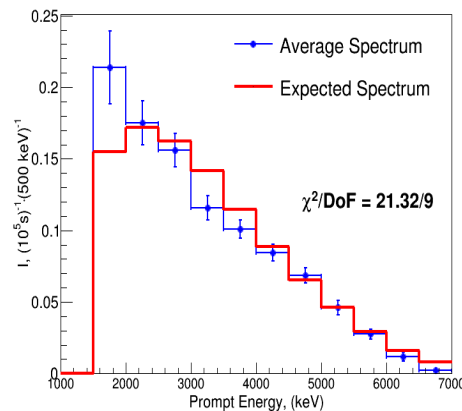
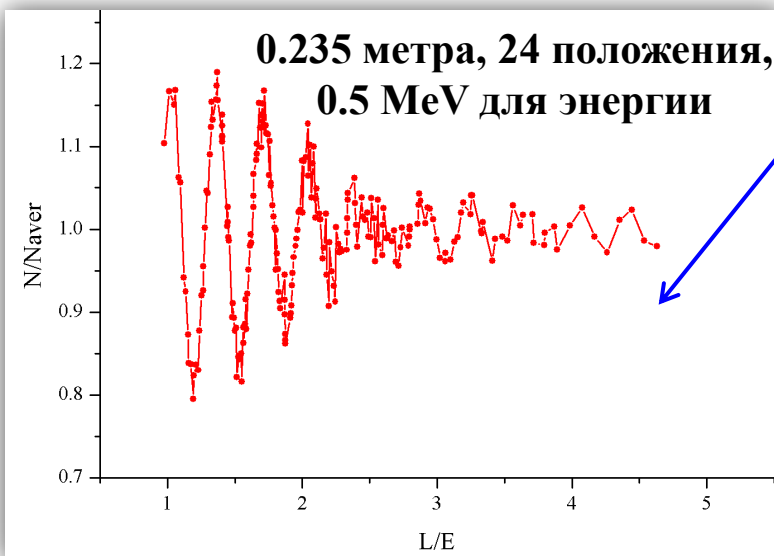


Ослабление синусоидального процесса для красной кривой в области $L/E > 2.5$ объясняется взятым энергетическим интервалом 0.5 MeV. Этот энергетический интервал соответствует экспериментальной энергетической резолуции $\pm 250 \text{keV}$

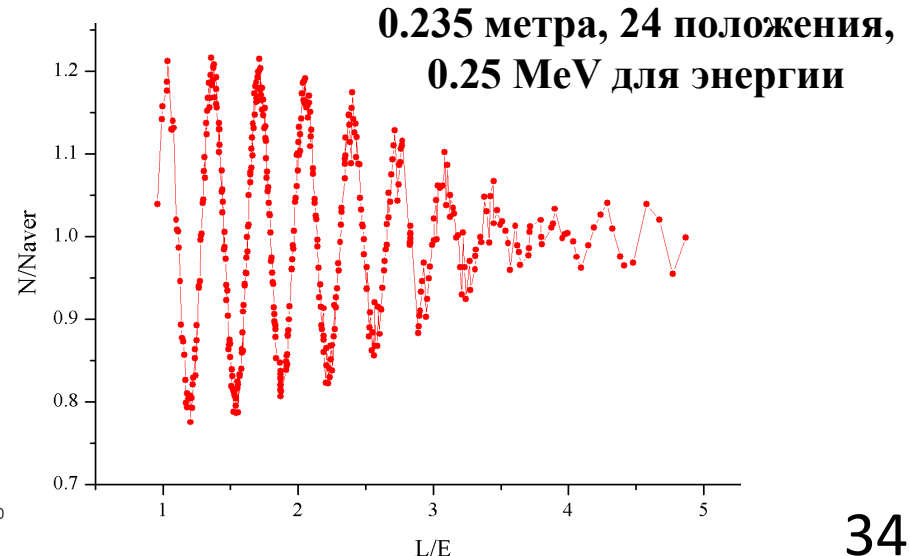
**0.47 метра, 12 положений,
0.25 MeV для энергии**



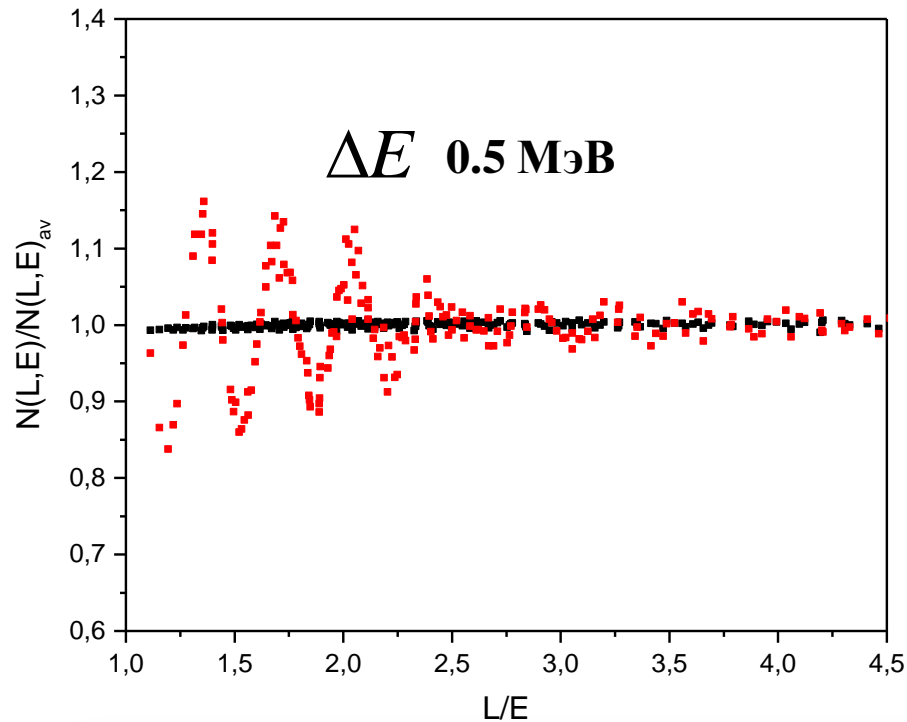
**0.235 метра, 24 положений,
0.5 MeV для энергии**



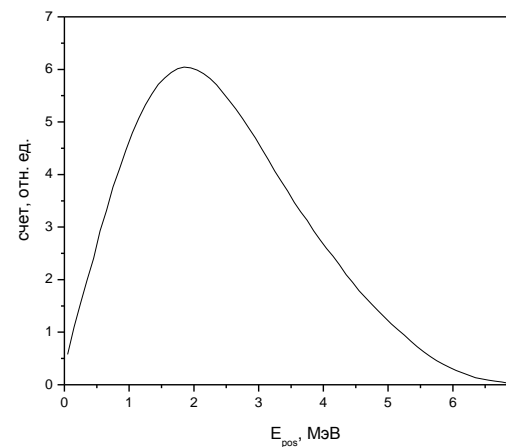
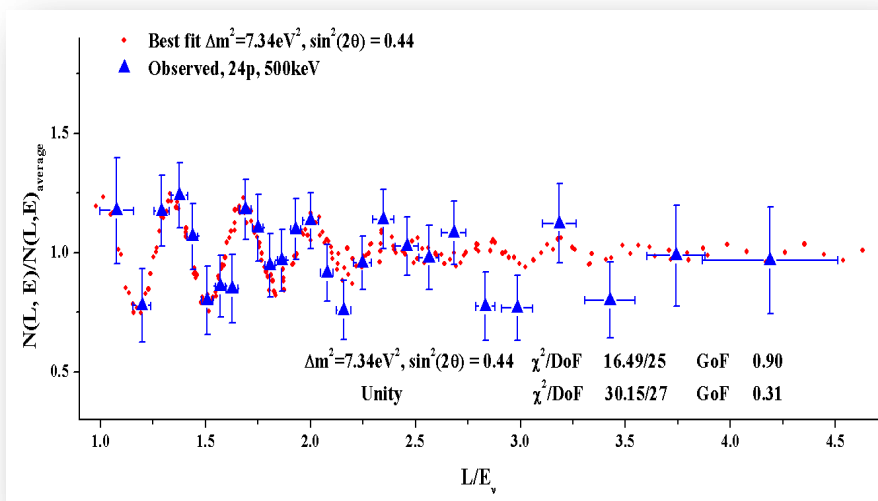
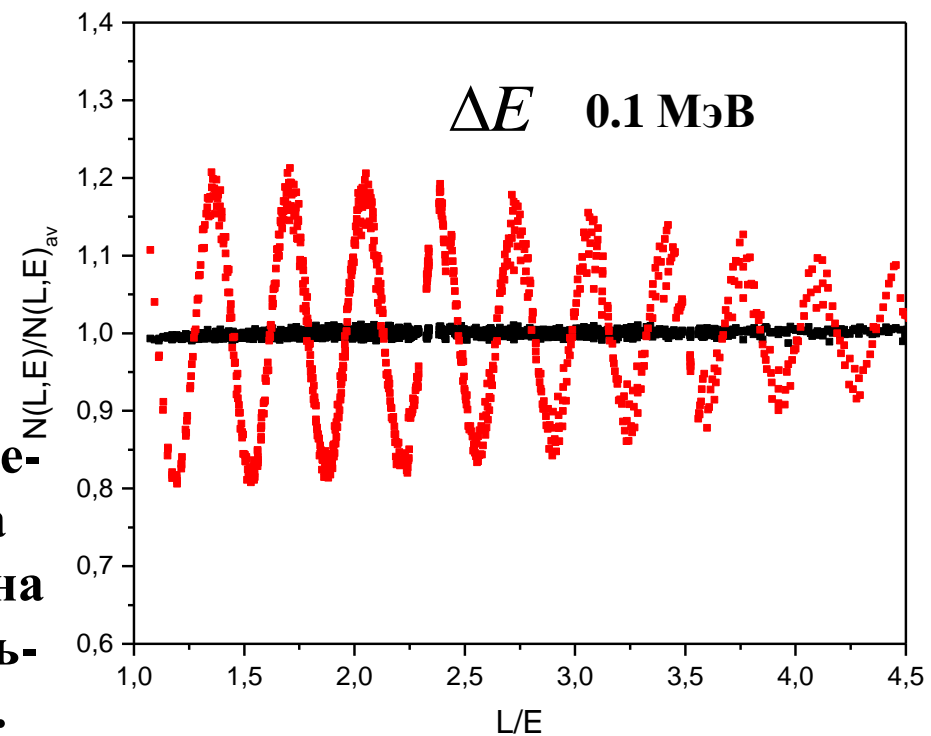
**0.235 метра, 24 положений,
0.25 MeV для энергии**



Монте – Карло расчёты с учётом размеров зоны реактора 42x42x35 см³ .

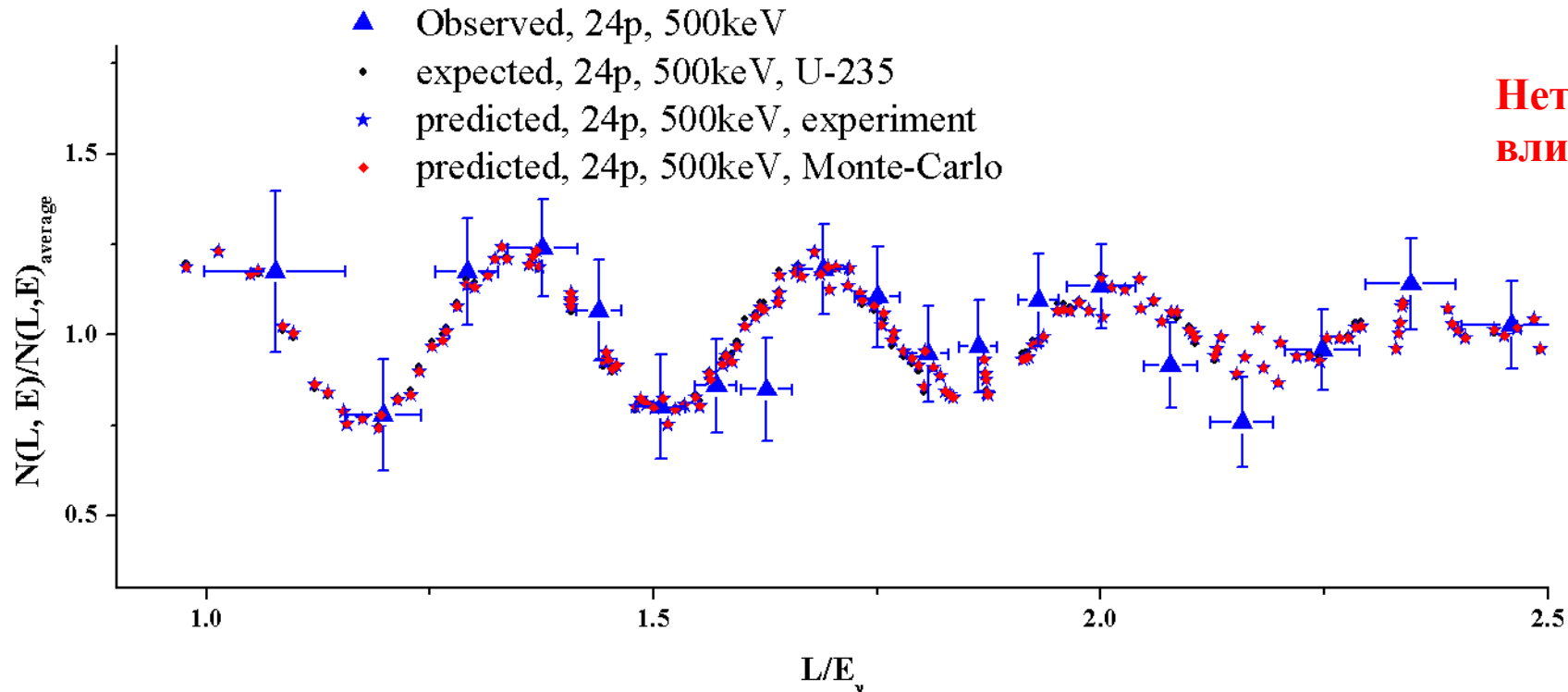


Для
 $\Delta E = 0.5 \text{ MeV}$
 картинка Монте-Карло расчёта
 вполне похожа на
 экспериментальную картинку.



Независимость выявления эффекта осцилляций от формы нейтринного спектра

Были выбраны 3 разных спектра: 1) U-235, 2) Experiment, 3) Monte-Carlo



Неточное измерение энергии
влияет на точность определения

Δm_{14}^2

Как видно разницы нет. Её и не должно быть, потому что спектры строго сокращаются в формуле (2)

$$R_{i,k}^{\text{exp}} = \frac{N(E_i, L_k) L_k^2}{K^{-1} \sum_k N(E_i, L_k) L_k^2} = \frac{[1 - \sin^2 2\theta_{14} \sin^2 (1.27 \Delta m_{14}^2 L_k / E_i)]}{K^{-1} \sum_k [1 - \sin^2 2\theta_{14} \sin^2 (1.27 \Delta m_{14}^2 L_k / E_i)]} = R_{i,k}^{\text{th}}$$

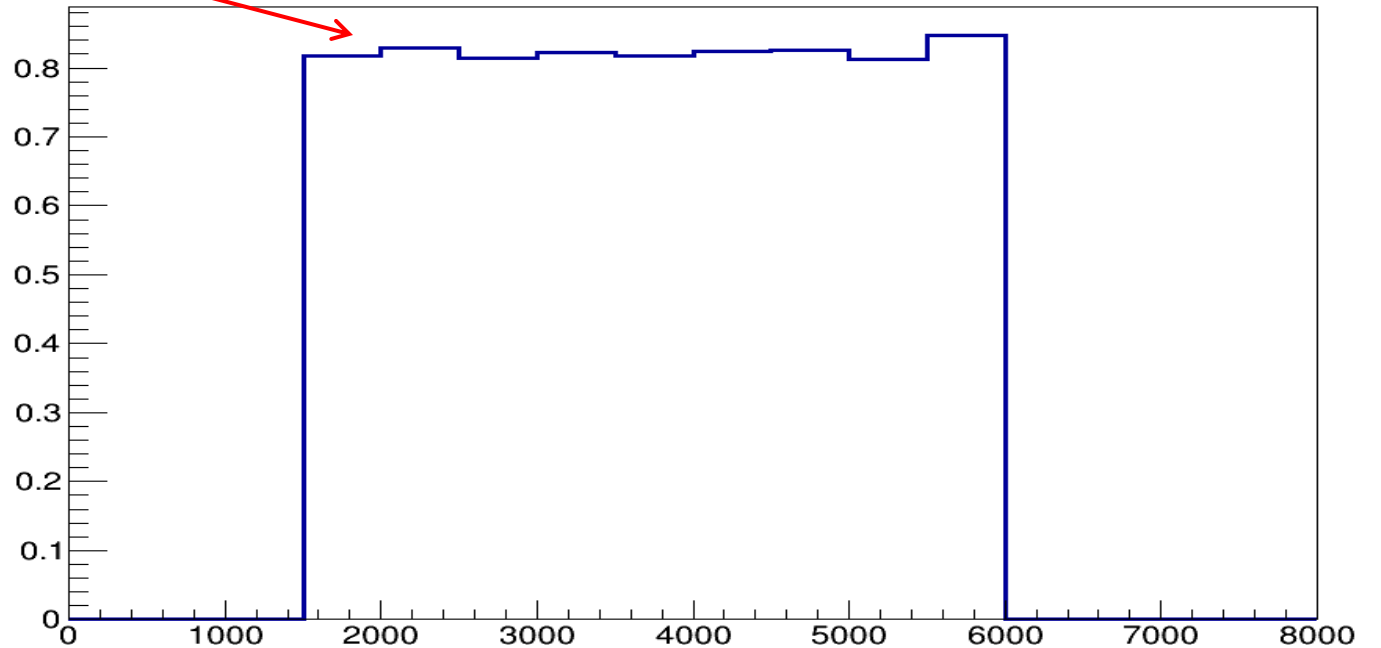
Об учете корреляций в уравнении 2

$$R_{i,k}^{\text{exp}} = \frac{N(E_i, L_k) L_k^2}{K^{-1} \sum_k N(E_i, L_k) L_k^2} = \frac{[1 - \sin^2 2\theta_{14} \sin^2 (1.27 \Delta m_{14}^2 L_k / E_i)]}{K^{-1} \sum_k [1 - \sin^2 2\theta_{14} \sin^2 (1.27 \Delta m_{14}^2 L_k / E_i)]} = R_{i,k}^{\text{th}} \quad (2)$$

$$K^{-1} \sum_k [1 - \sin^2 2\theta_{14} \sin^2 (1.27 \Delta m_{14}^2 L_k / E_i)]$$

среднее 0.82 +- 0.01 по разбросу

average spectrum (theory)

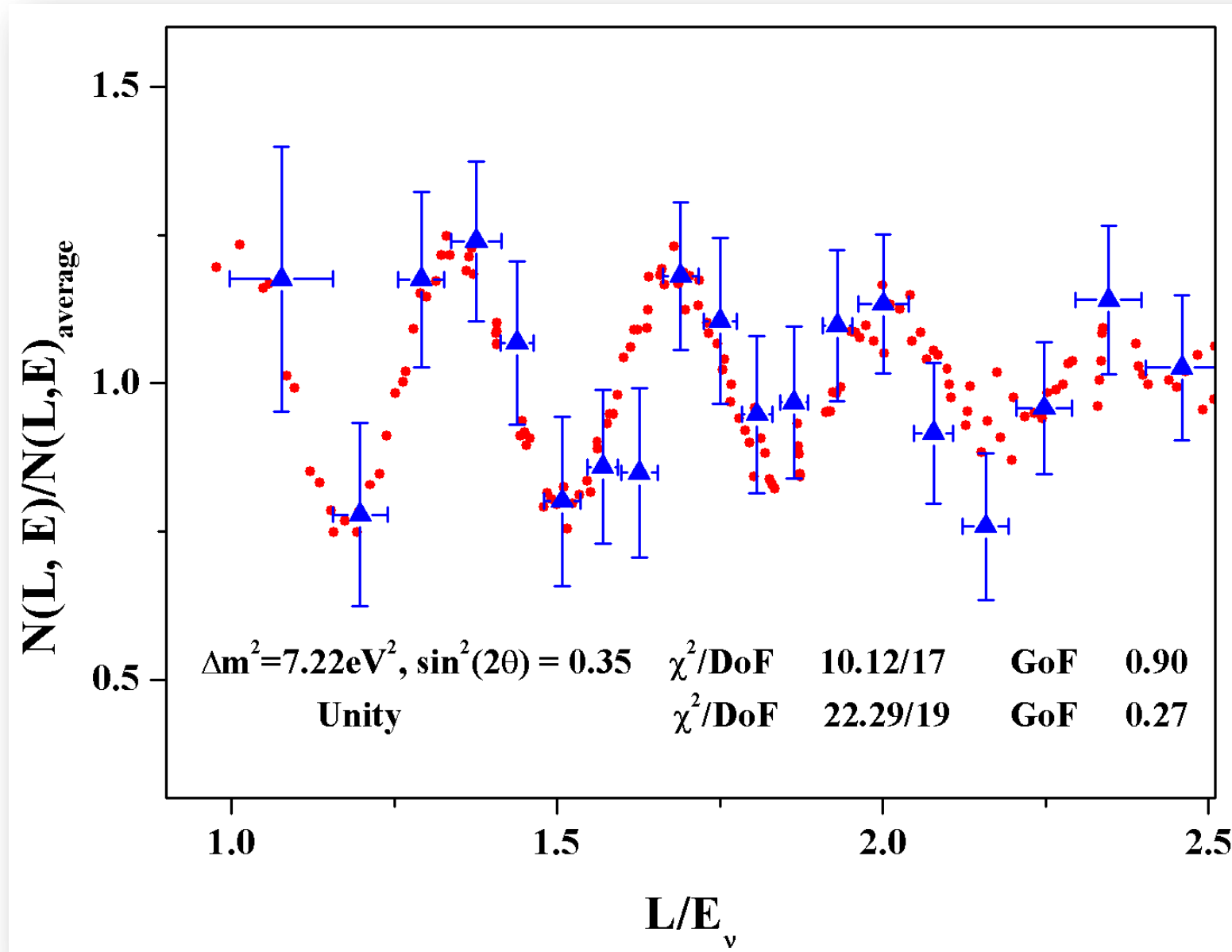


Усреднено по всем расстояниям от 6 до 12 метров с оптимальными параметрами :

$$\Delta m_{14}^2 \sim 7 \text{эВ}^2 \quad \sin^2 2\theta_{14} \sim 0.4$$

Вывод: корреляции по спектру есть, но они много меньше статистических ошибок и мы их пока не учитываем.

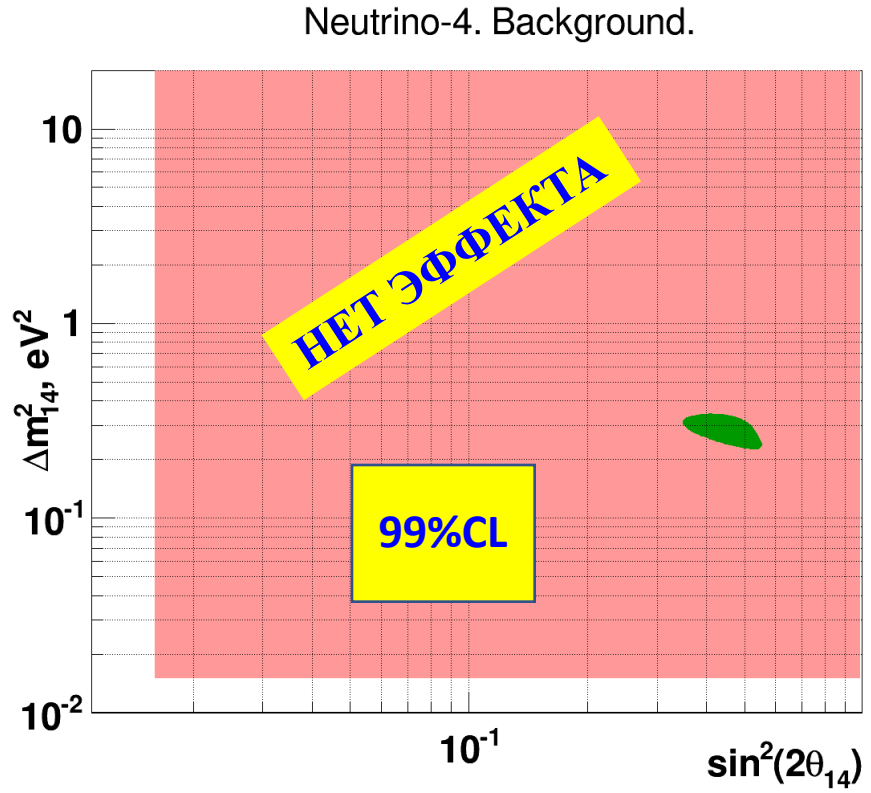
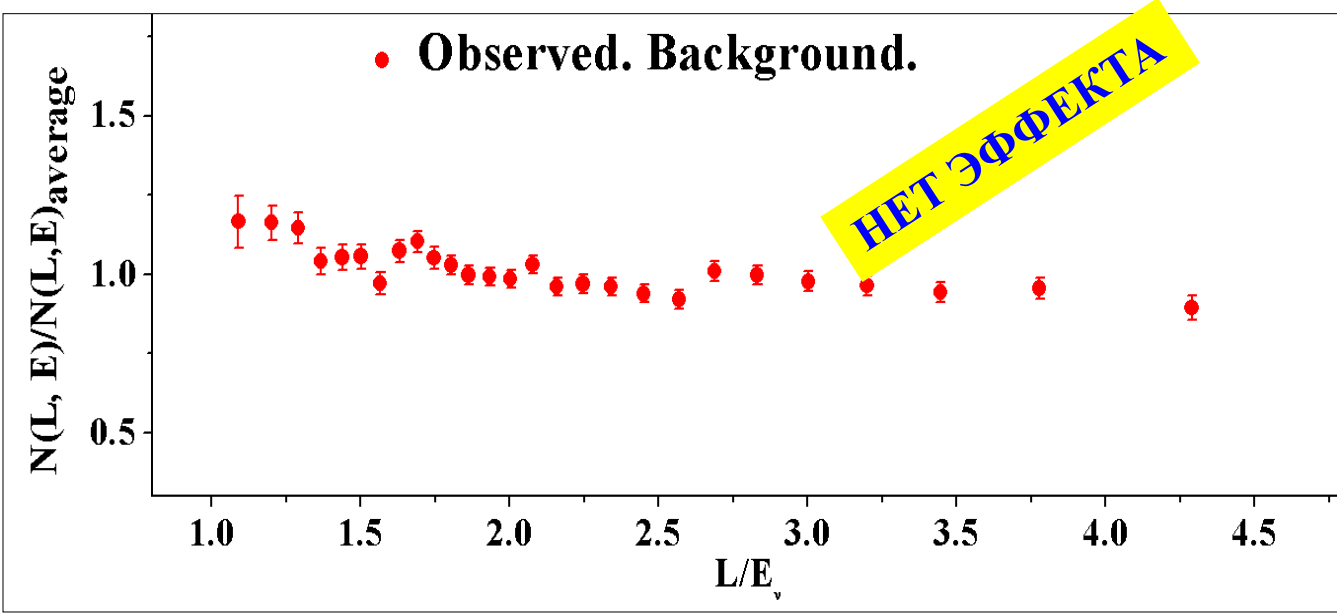
Первое наблюдение осцилляций реакторного антинейтрино в стерильное нейтрино



GoF 90%

Проверка на систематические эффекты

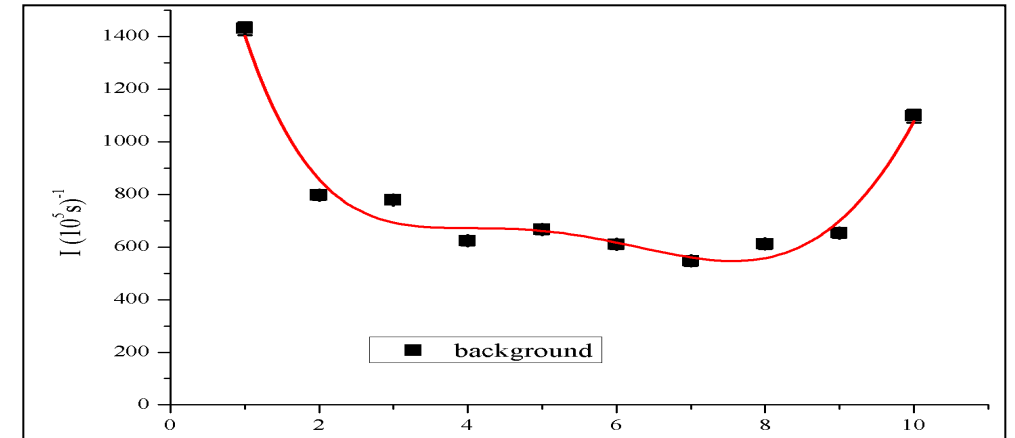
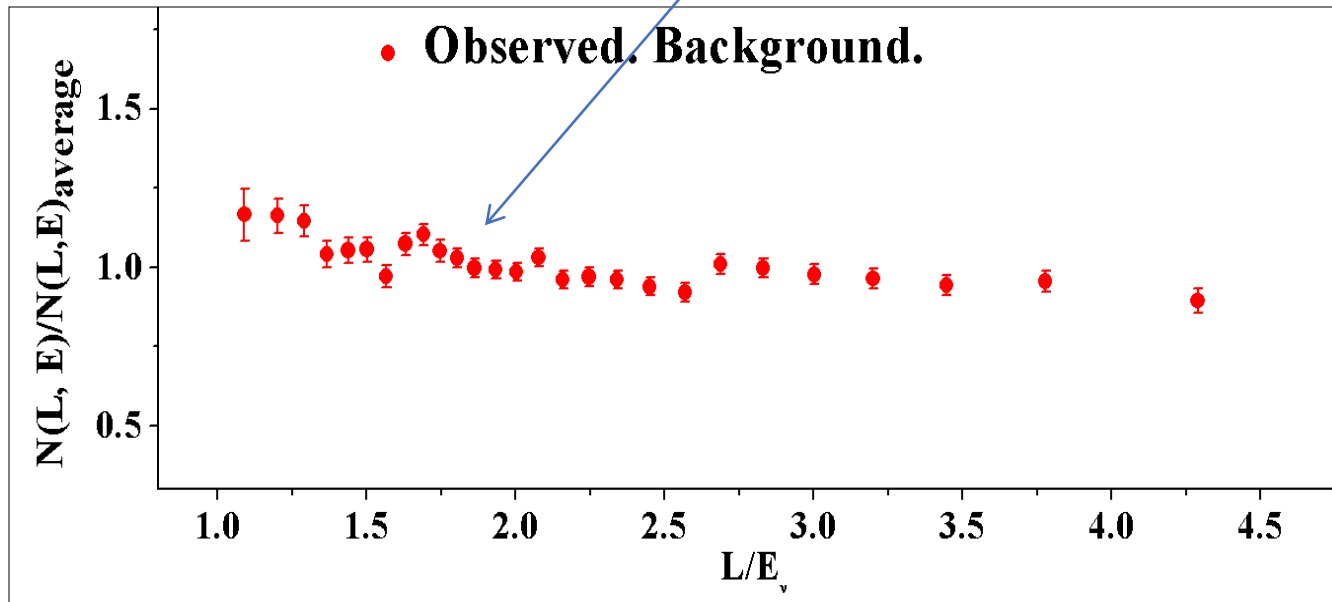
Для проверки на систематические эффекты надо выключить поток антинейтрино (реактор) и провести такую же обработку измерений, используя быстрые нейтроны космического фона.



Фон коррелированных событий (быстрые нейтроны космического фона) немного уменьшается с расстоянием.

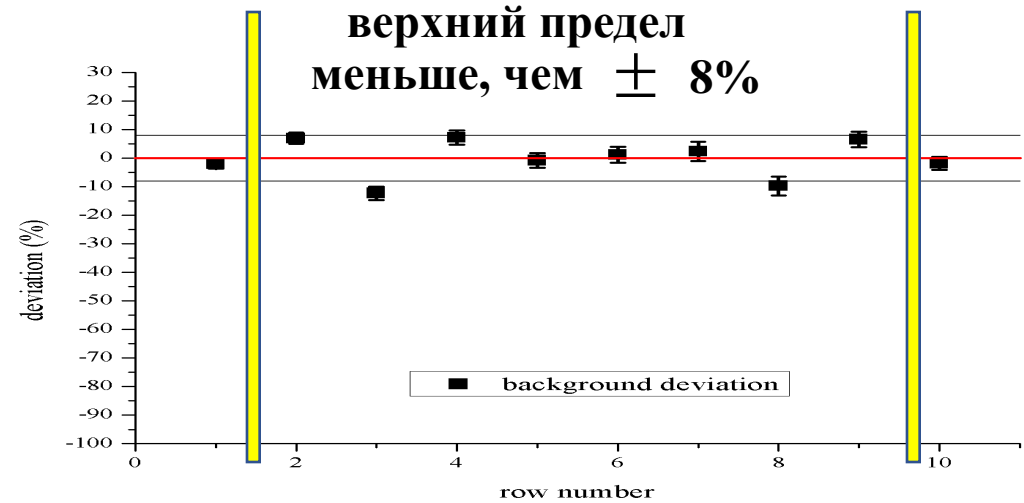
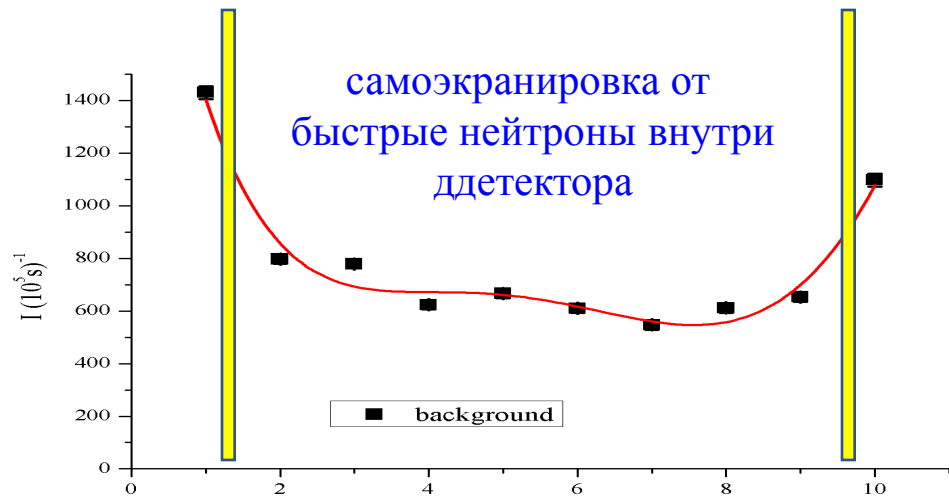
NET ЭФФЕКТА ОСЦИЛЛЯЦИЙ – NET АППАРАТУРНЫХ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ

Объяснение вариаций в зависимости L/E для фона

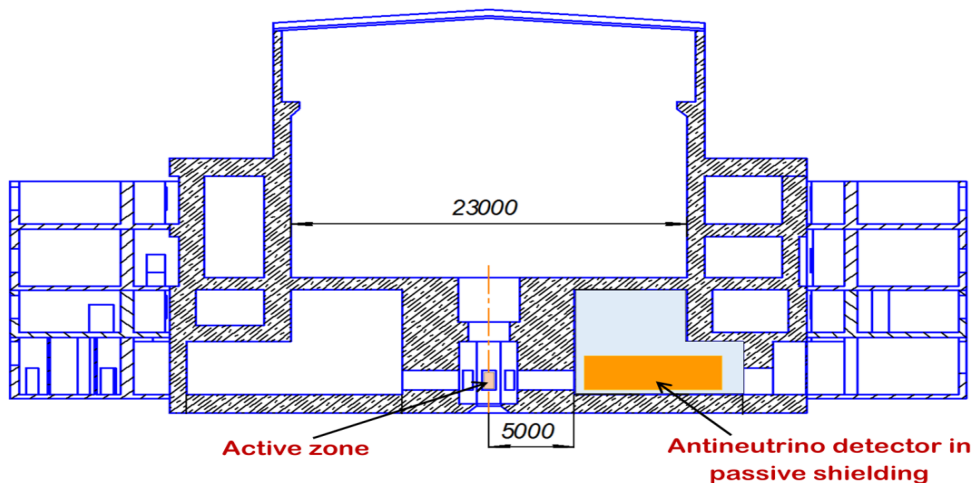


Просматриваются разные положения детектора. Этот эффект в разности ON-OFF вычитается.

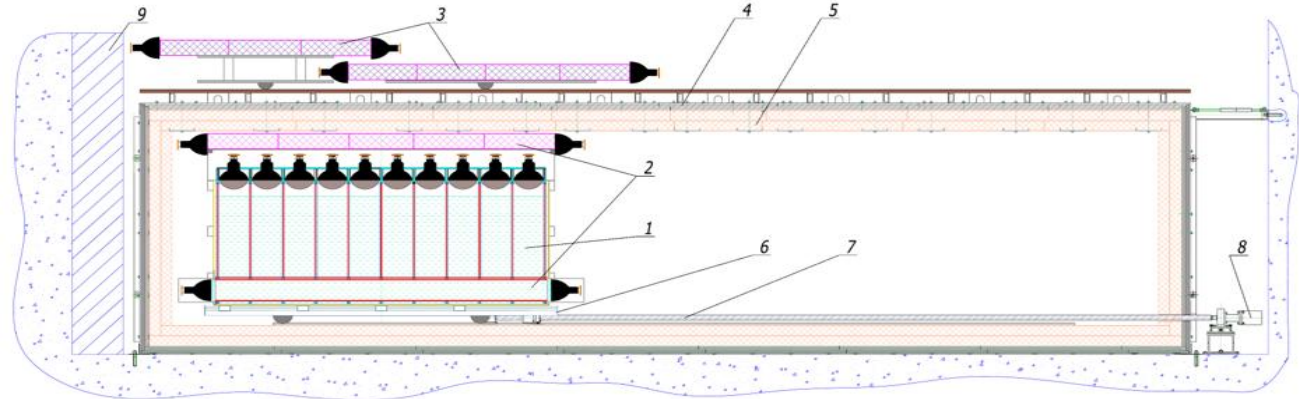
Анализ возможной разницы в эффективности рядов детектора, использование фона быстрых нейтронов, который вызван в здании от космических мюонов.



Фон быстрых нейтронов асимметричен из-за структуры здания.



Дисперсия фона при перемещении детектора входит в тех же 8%.

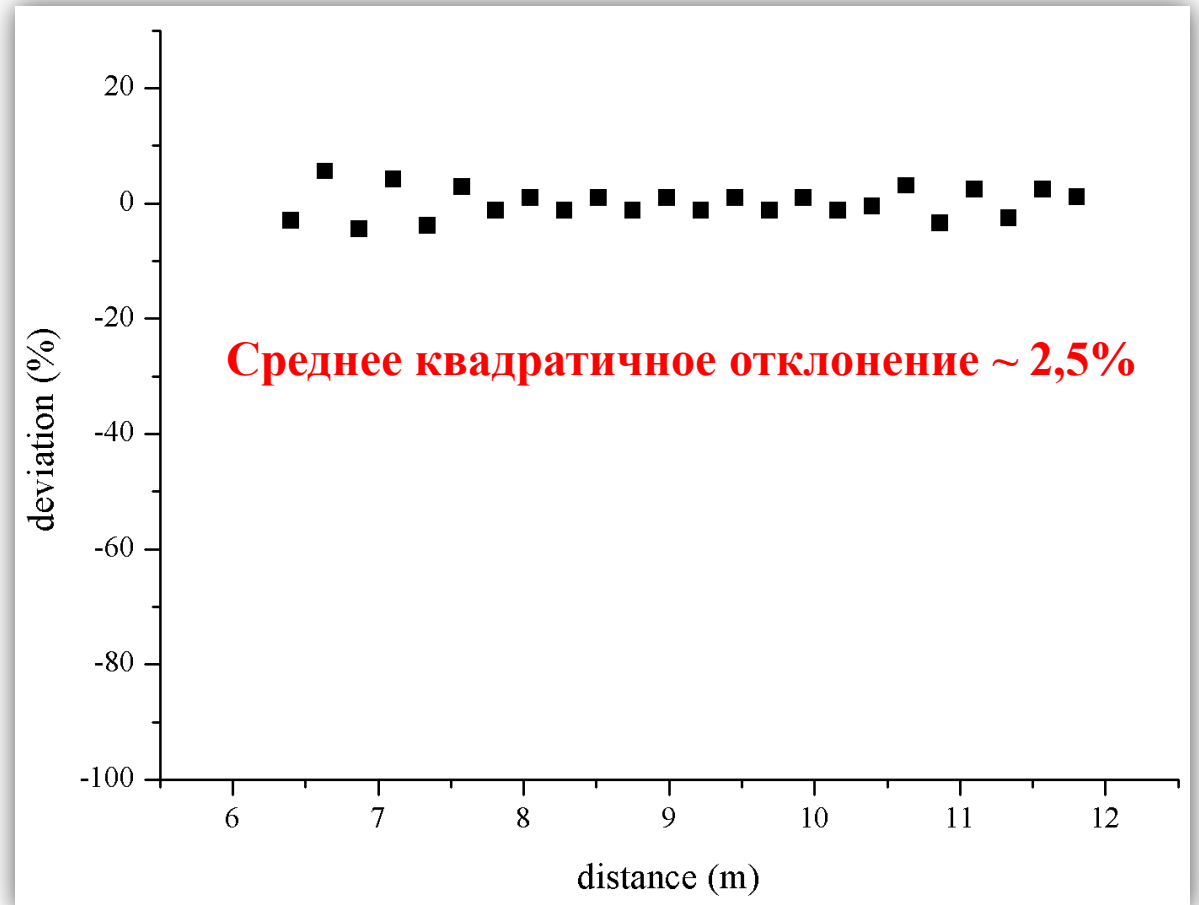


Мы используем только 8 внутренних рядов, первый и десятый защитные.

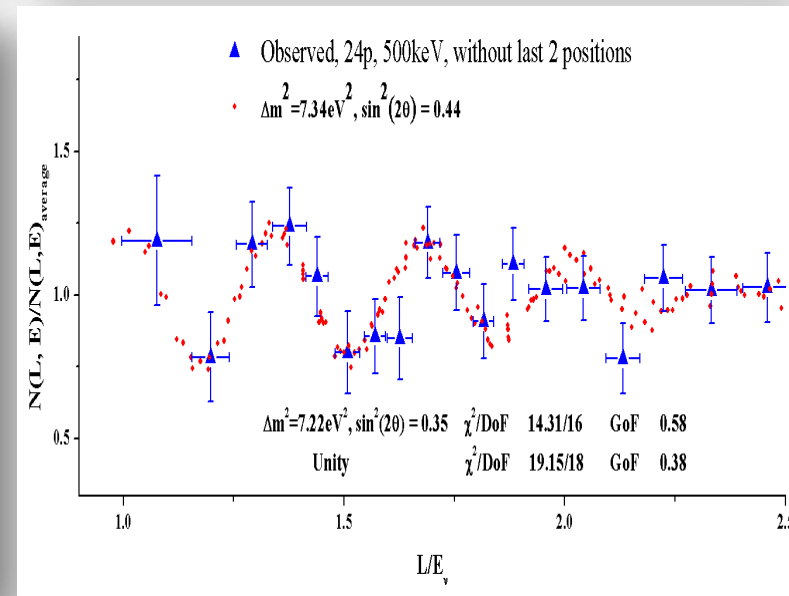
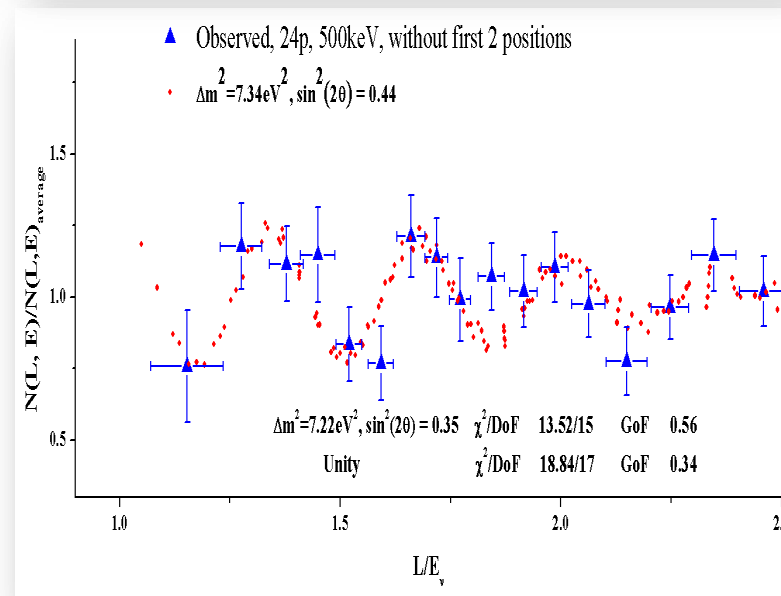
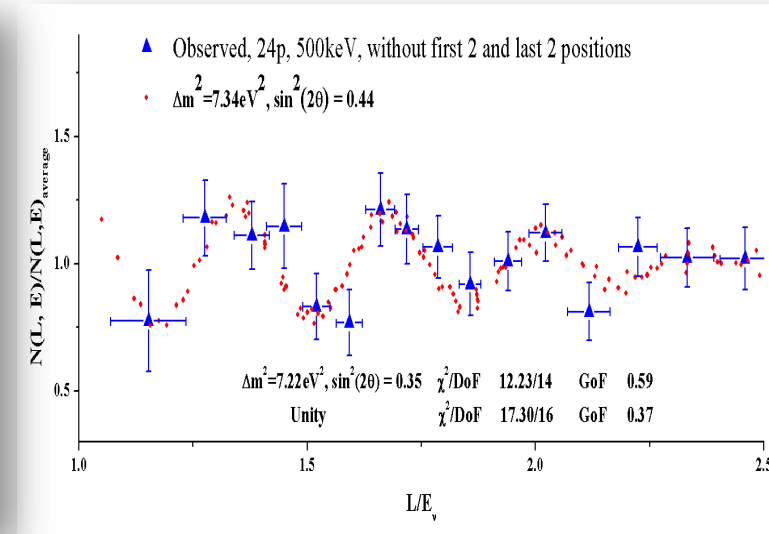
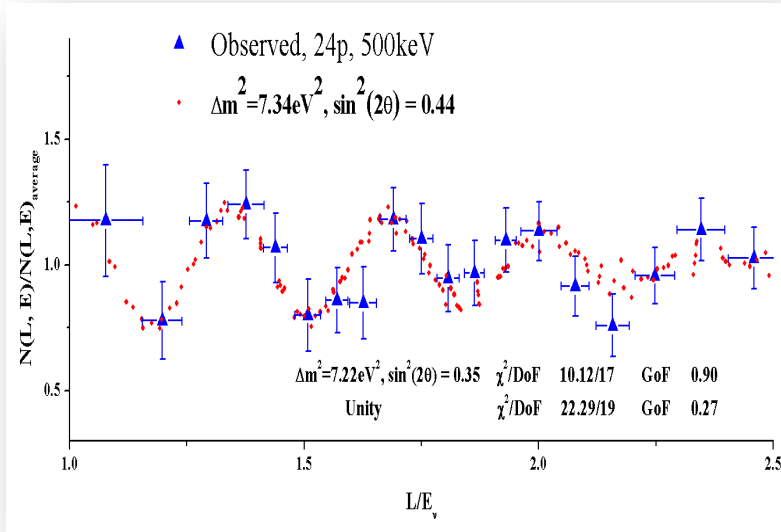
Усреднение эффективности рядов детектора из-за перемещений (оценка сверху)

L(m)	номер ряда детектора				
6.4025	2				
6.6375	3				
6.8725	4	2			
7.1075	5	3			
7.3425	6	2	4		
7.5775	7	3	5		
7.8125	8	4	6	2	
8.0475	9	5	7	3	
8.2825	6	2	8	4	
8.5175	7	3	9	5	
8.7525	8	4	6	2	
8.9875	9	5	7	3	
9.2225	6	2	8	4	
9.4575	7	3	9	5	
9.6925	8	4	6	2	
9.9275	9	5	7	3	
10.1625	6	2	8	4	
10.3975	7	3	9	5	2
10.6325	8	4	6	3	
10.8675	9	5	7	4	
11.1025	6	8	5		
11.3375	7	9	6		
11.5725	8	7			
11.8075	9	8			

Средняя эффективность на различных расстояниях

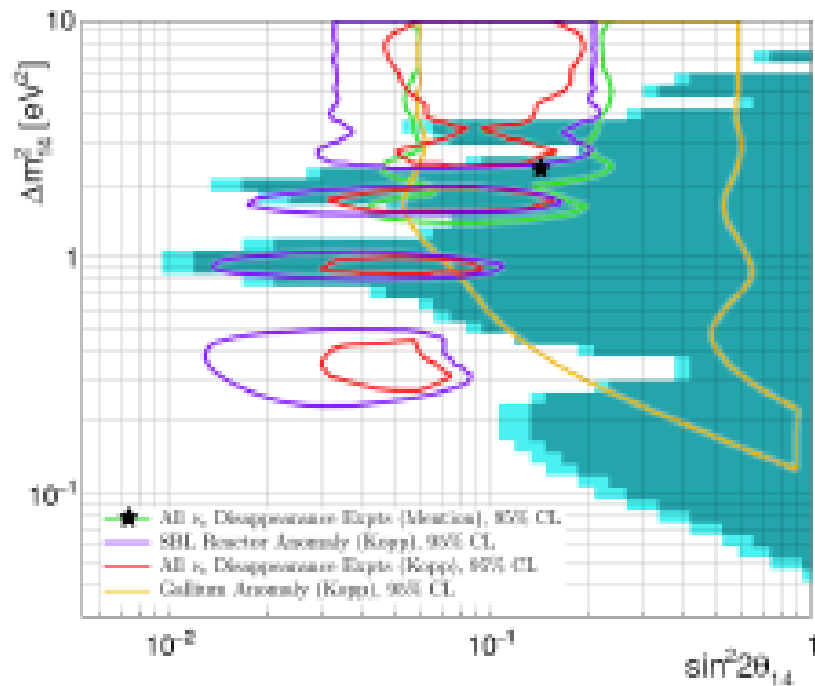


Тест на стабильность эффекта посредством удаления крайних положений



Заключение
Нет причины полагать, что эффект может быть вызван структурой детектора.
Возможность усреднения эффективности различных рядов, размещая их на том же самом расстоянии является преимуществом нашего эксперимента.

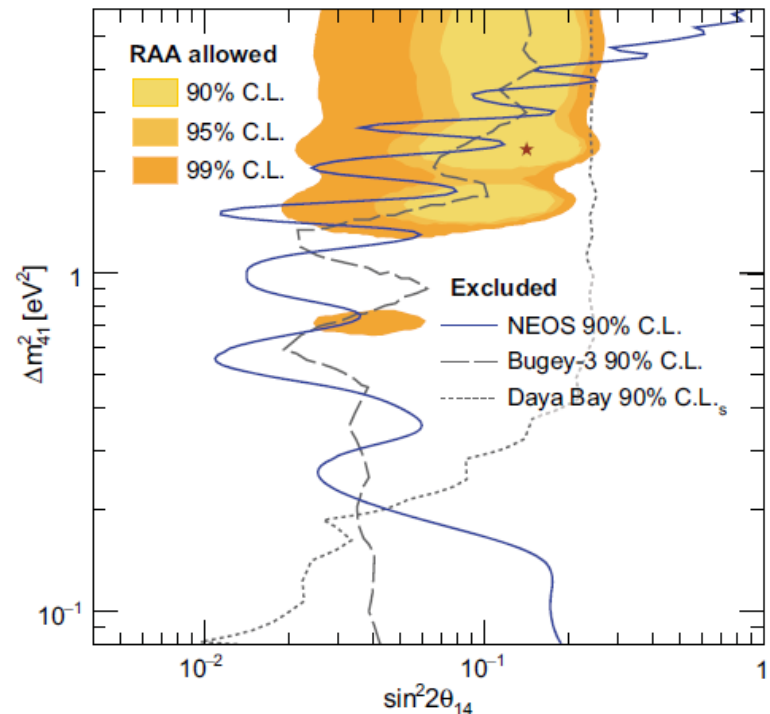
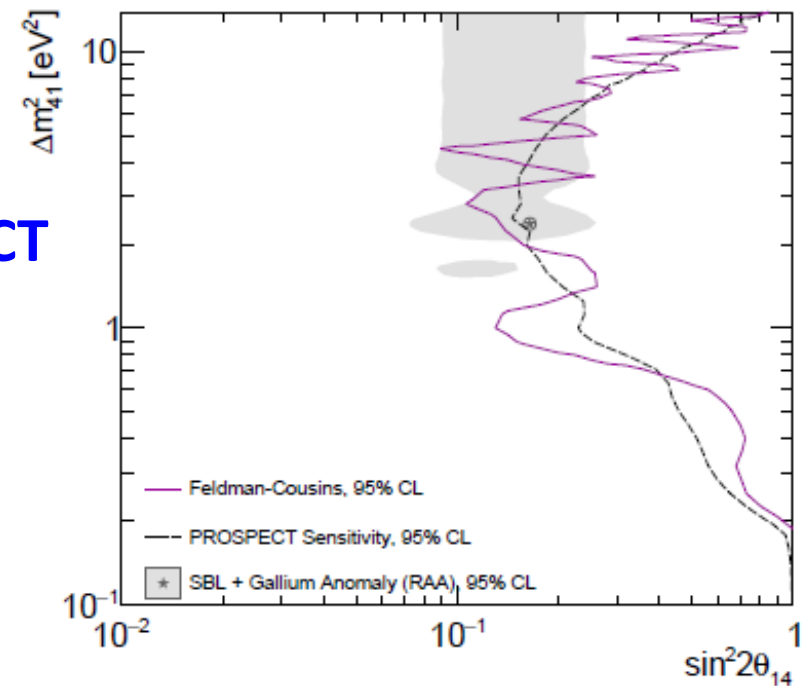
Полученные результаты следует сравнить с другими результатами экспериментов с короткой базой, выполненные на исследовательских реакторах и атомных электростанциях.



**DANSS
90%**

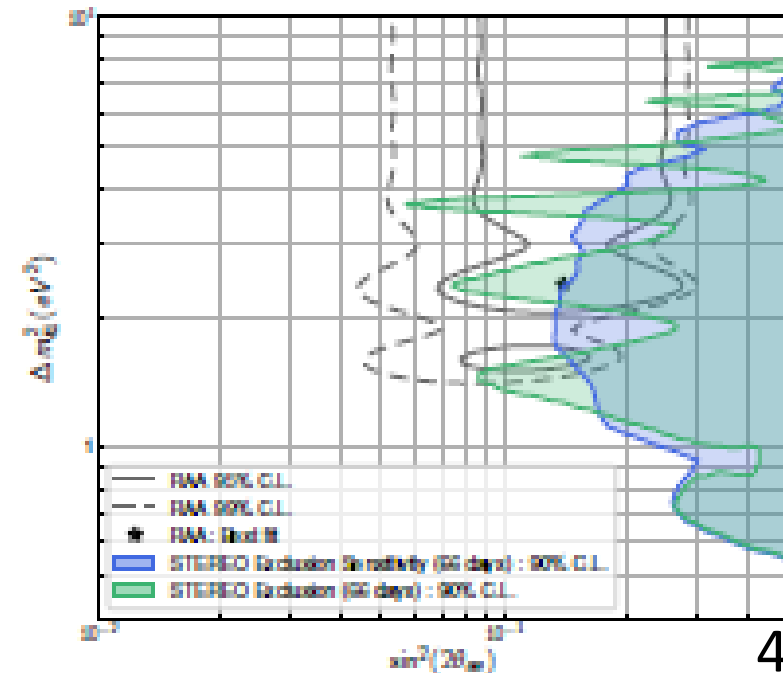
**PROSPECT
95%**

**чувствительность
других
экспериментов:
NEOS , DANSS ,
STEREO
и PROSPECT**

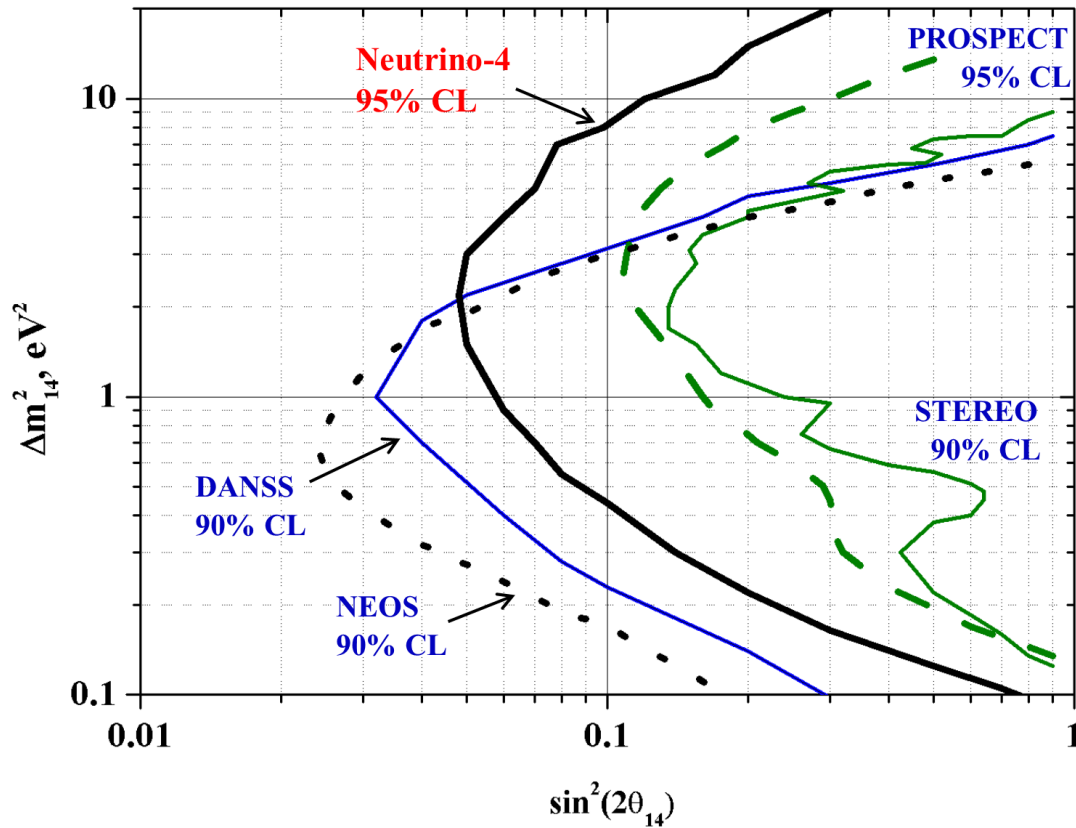


**NEOS
90%**

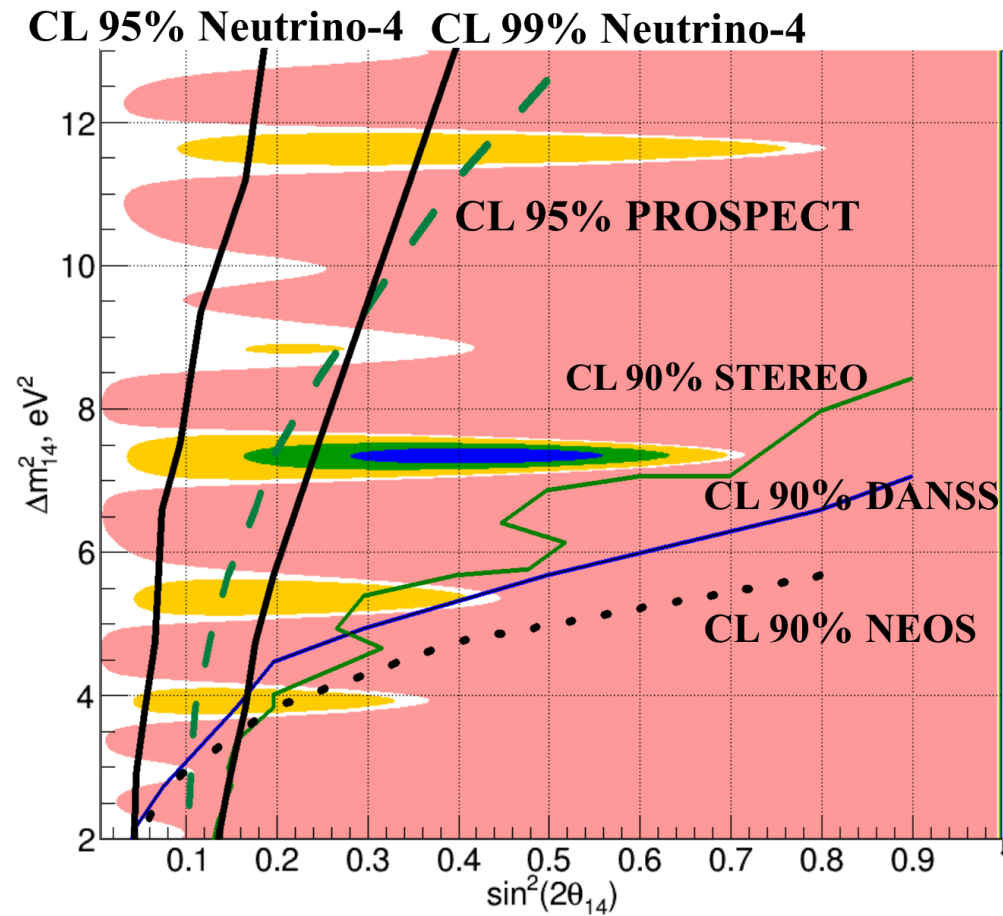
**STEREO
90%**



Чувствительность экспериментов NEOS, DANSS, STEREO и PROSPECT вместе с Нейтрино 4



области чувствительности различных экспериментов (масштаб логарифмический)

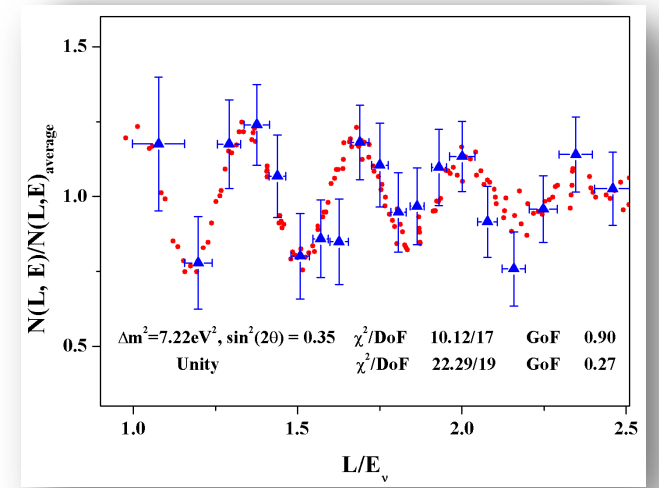
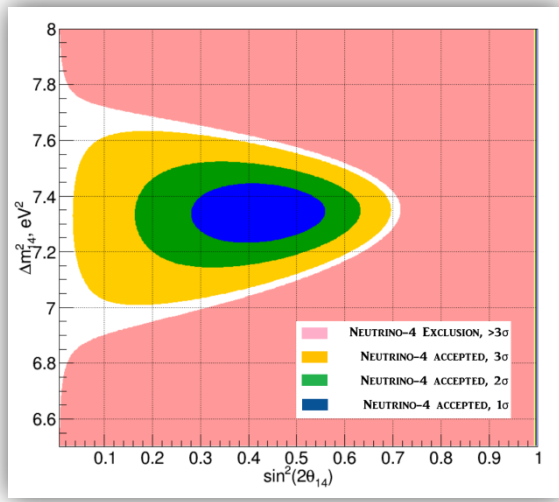


линейный масштаб, область эффекта .

Эксперимент Нейтрино-4 имеет преимущество в чувствительности к большим значениям Δm_{14}^2 благодаря компактной зоне реактора, близкому минимальному расстоянию детектора от активной зоны реактора и большому диапазону расстояний для перемещения детектора. Следующим по чувствительности к большим Δm_{14}^2 является эксперимент PROSPECT. Пока его чувствительность приблизительно в 2 раза ниже, но этот эксперимент недавно начал набор статистики и имеет шансы на подтверждение или опровержение нашего результата.

Эксперимент Нейтрино-4 имеет преимущество в чувствительности к большим значениям $\Delta m_{1,4}^2$ благодаря компактной зоне реактора, близкому минимальному расстоянию детектора от активной зоны реактора и большому диапазону расстояний для перемещения детектора. Следующим по чувствительности к большим $\Delta m_{1,4}^2$ является эксперимент PROSPECT. Пока его чувствительность приблизительно в 2 раза ниже, но этот эксперимент недавно начал набор статистики и имеет шансы на подтверждение или опровержение нашего результата.

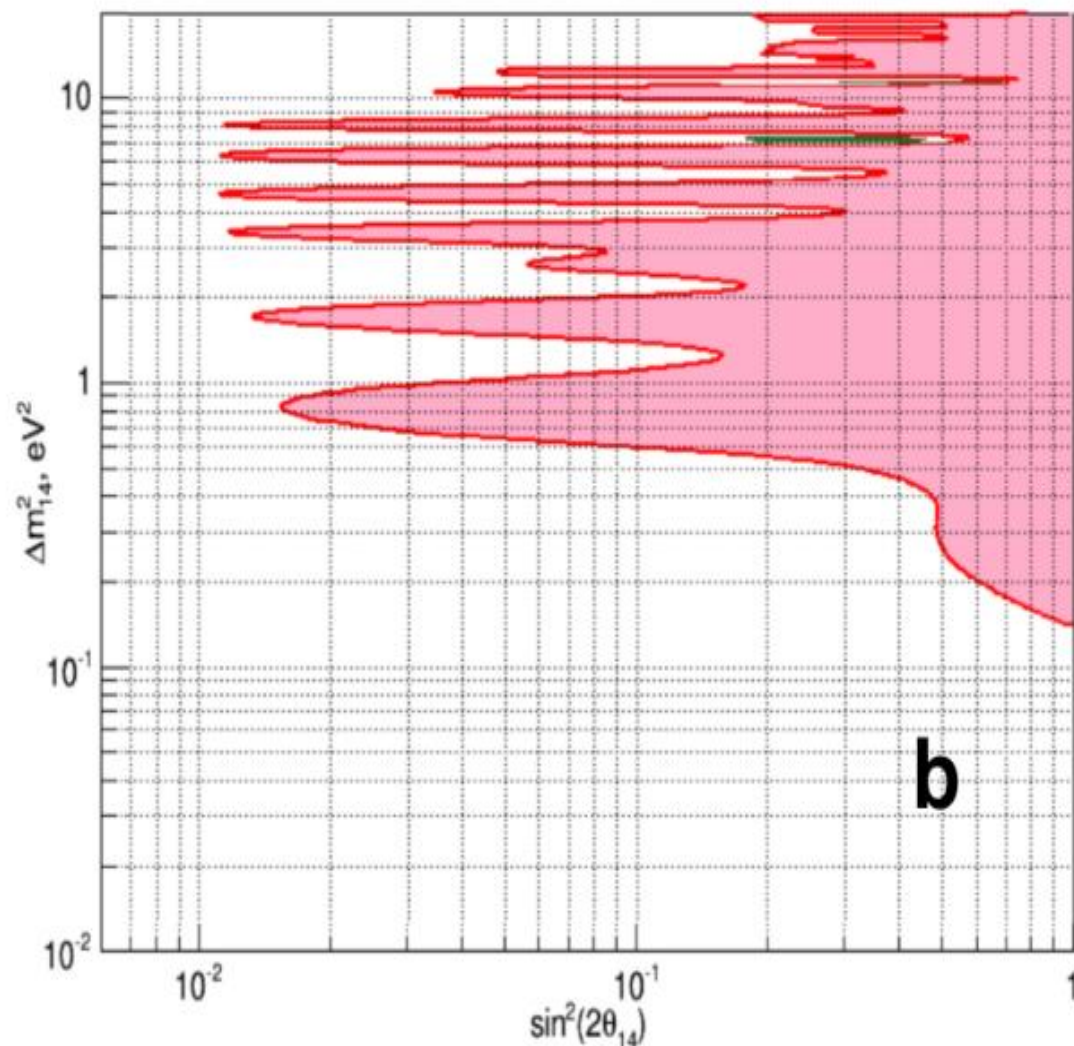
Thank you for attention



Best regards from Gatchina

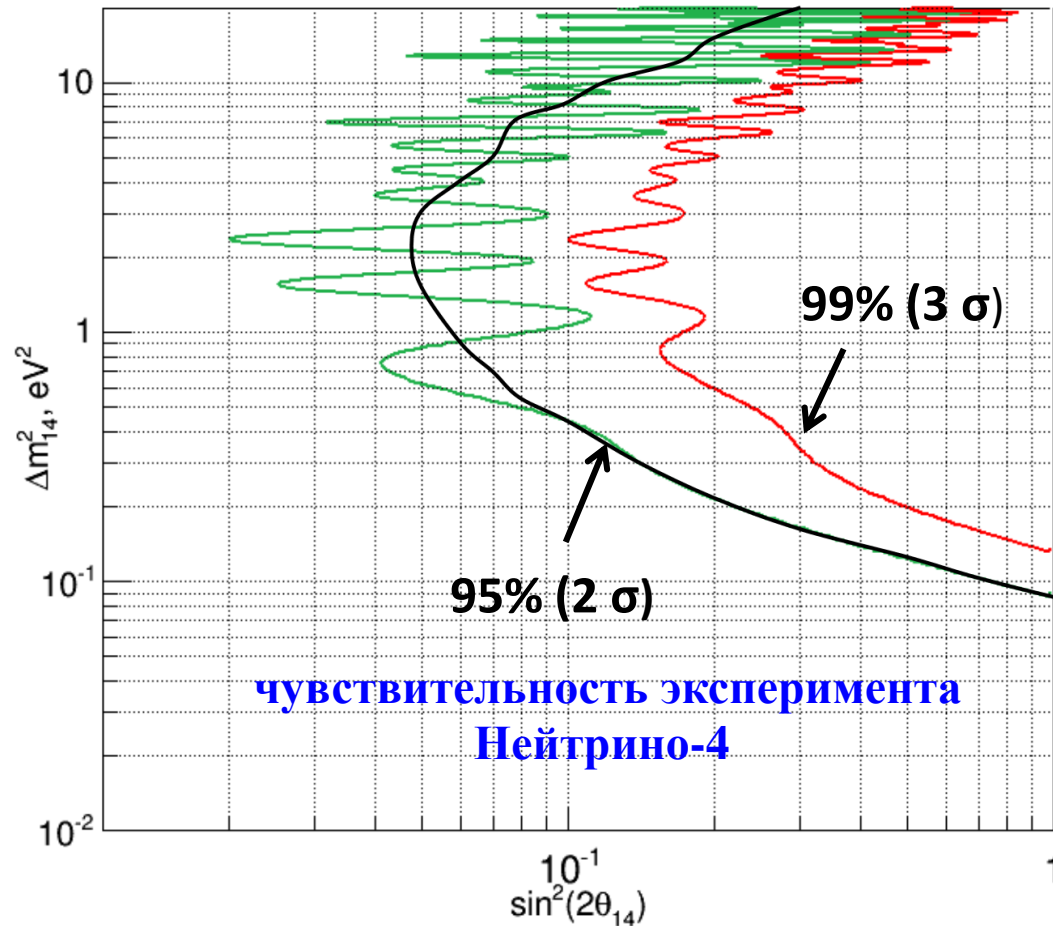
Best regards from Dimitrovgrad

Анализ результата на устойчивость



Результаты проведённого анализа могут быть проверены на устойчивость. С этой целью экспериментальные данные ($N_{i,k} \pm \Delta N_{i,k}$) можно разыграть по гауссову распределению вокруг значения $N_{i,k}$ в пределах ошибки $\Delta N_{i,k}$. Таким способом было наиграно 60 условных экспериментов, которые могли бы состояться в пределах имеющейся экспериментальной точности. Для этих условных экспериментов можно провести анализ, подобный, указанному выше анализу и усреднить все распределения. Было показано, что результат ограничений (розовая область) воспроизводится, а область эффекта осцилляций сосредотачивается вокруг значения $\Delta m_{14}^2 \approx 7.2 \text{ эВ}^2$

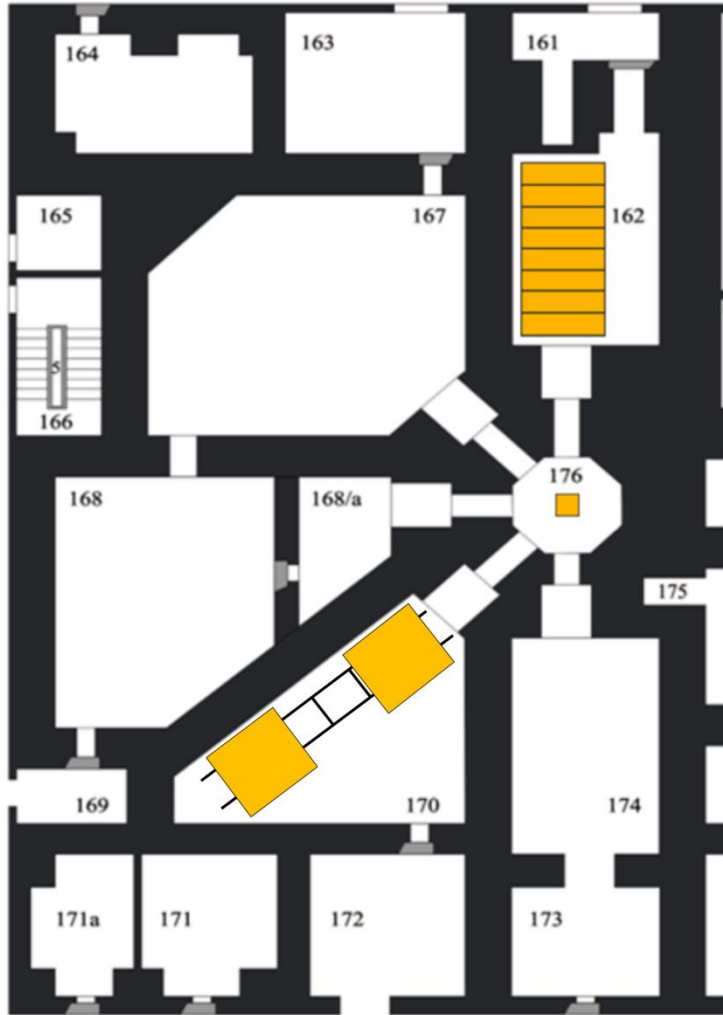
Определение чувствительности эксперимента Нейтрино-4



Симуляция экспериментальных данных, с такой же точностью, но заведомо без эффекта осцилляций.

Было показано, что большой размах возмущений по горизонтальной оси, пропадает. Это указывает на то, что большой размах возмущений свидетельствует о наличие эффекта.

Future plans: Experiment Neutrino-6



Neutrino laboratory on the SM-3 reactor in room №170

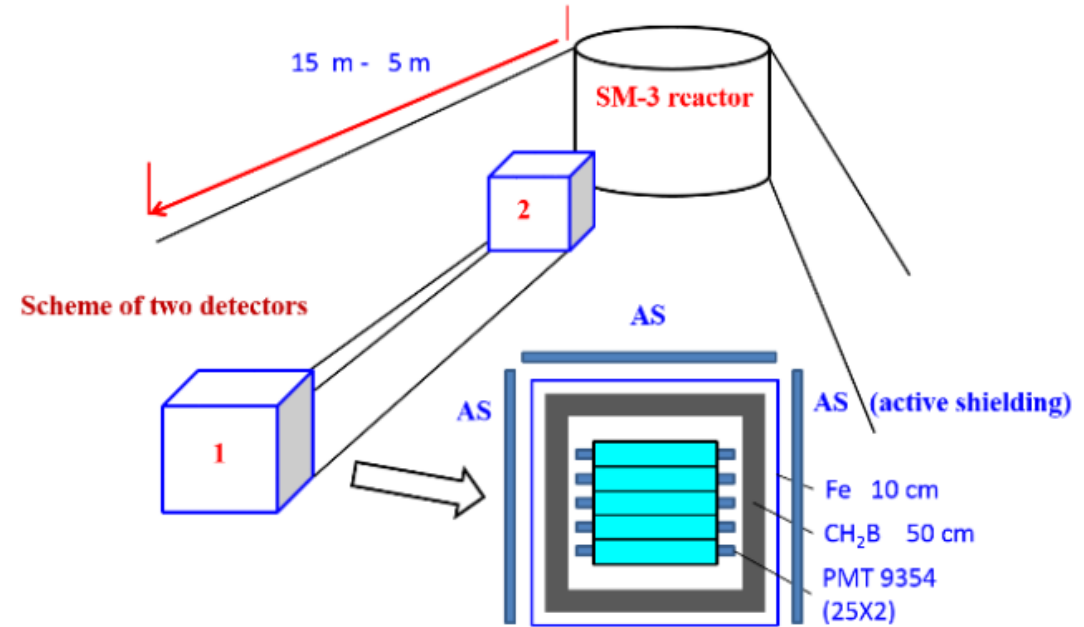
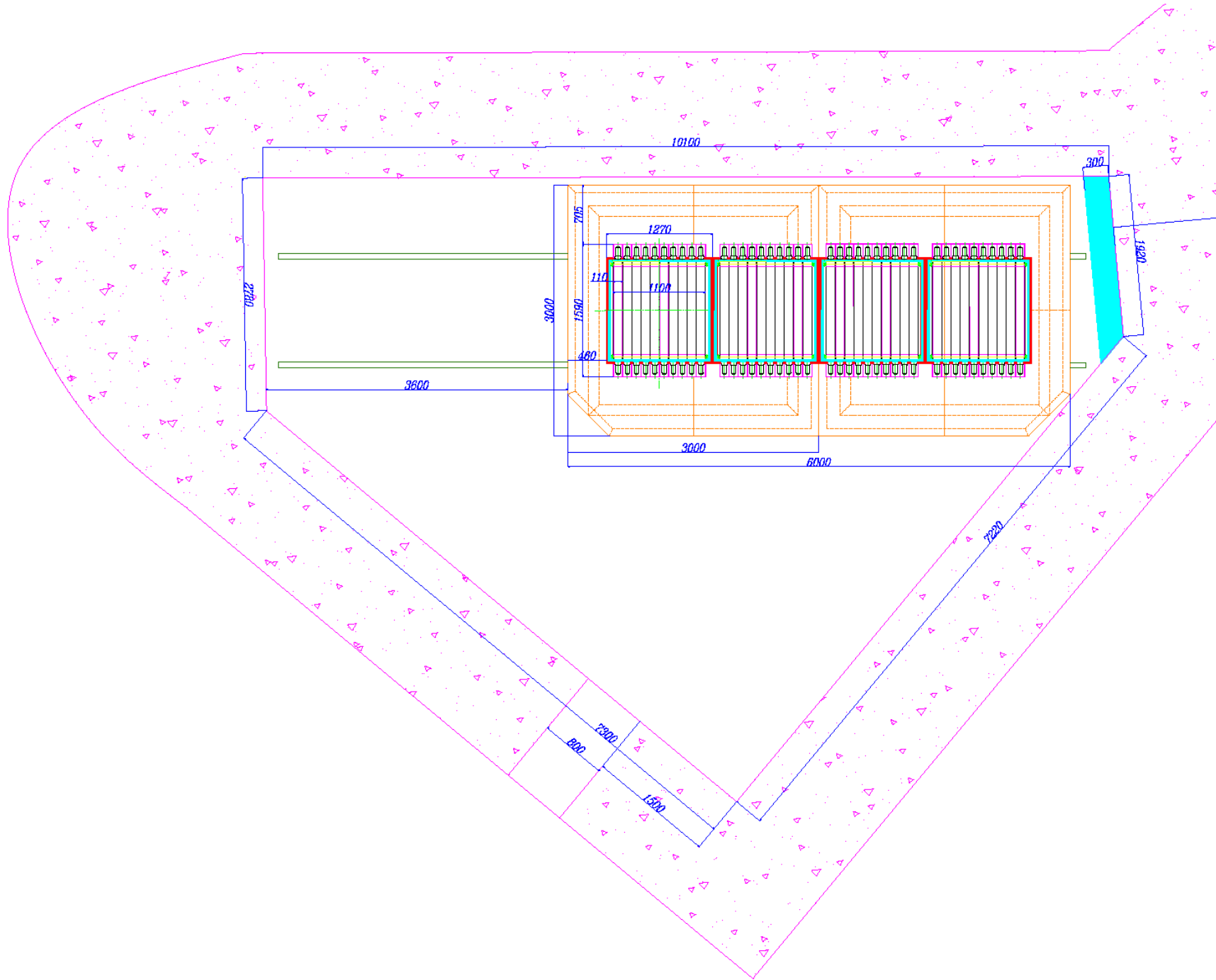
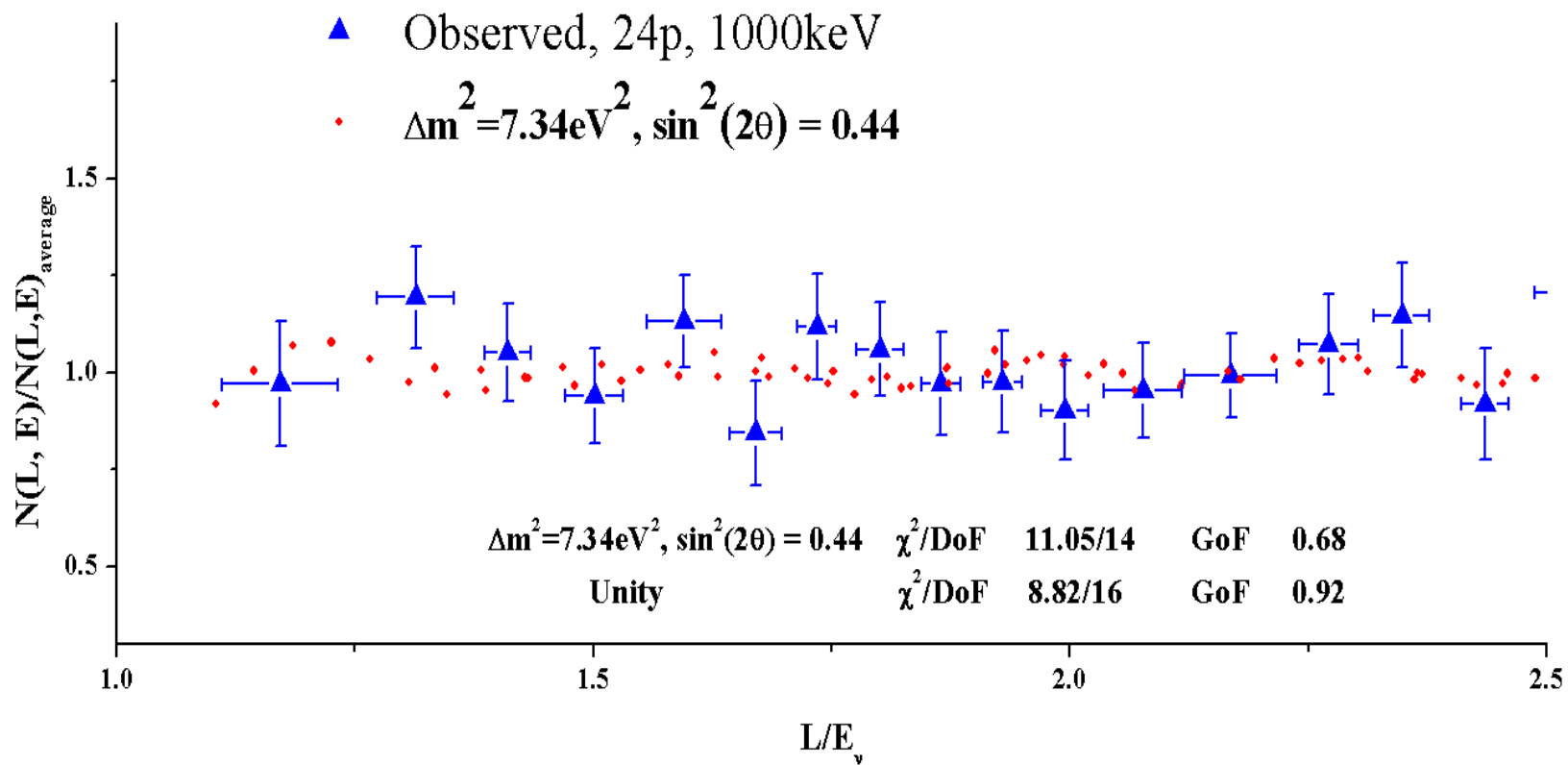


FIG. 22. Scheme of a new experiment on search for neutrino oscillations in room No. 170 of the SM-3 reactor.





Сдвиг по энергии при переходе от энергии мгновенных сигналов к энергии антинейтрино возможен. Вопрос на сколько. Порог регистрации в соседней секции 0.1 MeV . Доля сигналов с регистрацией в соседних секциях 37%. Поэтому сдвиг спектра можно оценить по верхнему пределу в 0.1 MeV. Потери в межсекционных перегородках могут тоже включены в эту оценку.

Напоминаем, что используются только 8 внутренних рядов
Доля много (2-3) секционных стартов

24 central and 16 side cells for full-scale detector

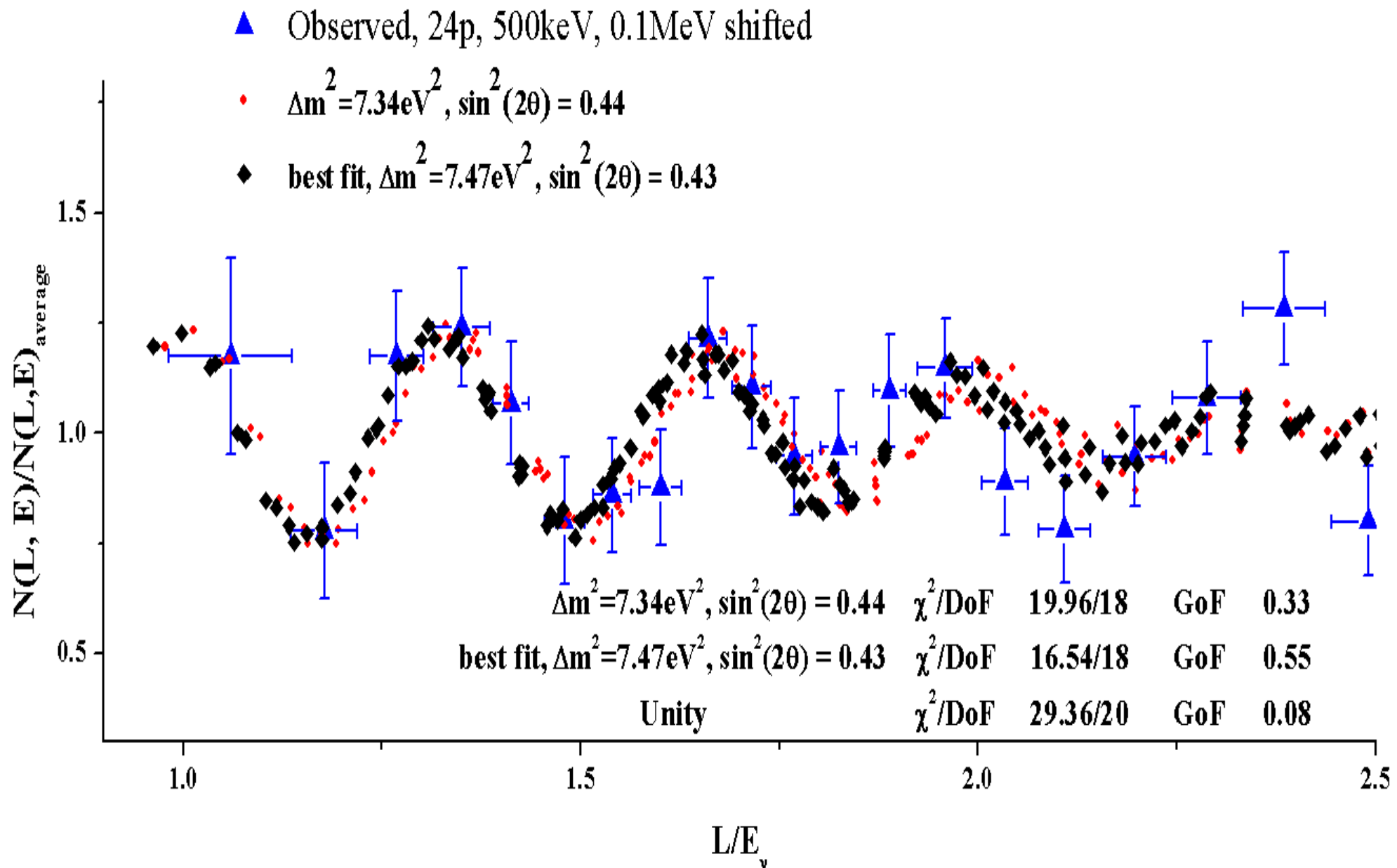
central cell	side cell	angular cell	in all cells
0.42	0.29	0.19	0.37

Формула для связи энергии антинейтрино и энергии мгновенных сигналов :

$$E_i^{\nu} = E_i^{prompt} + 1.806 - 2 \times 0.511 = 0.784 MeV \text{ из-за потери энергии в } 0.1 MeV \text{ переходит в}$$

$$E_i^{\nu} = E_i^{prompt} + 0.884 MeV . \text{ Такой учёт приводит к следующей картине осцилляций (см. рис.)}$$

и смещению центрального положения Δm^2 на 2%.



Предел у PROSPECT равен 0.2 при CL95%, т.е. 0.2 ± 0.1

Наш результат 0.44 ± 0.15 .

Поэтому расхождение с нами 0.24 ± 0.18 .

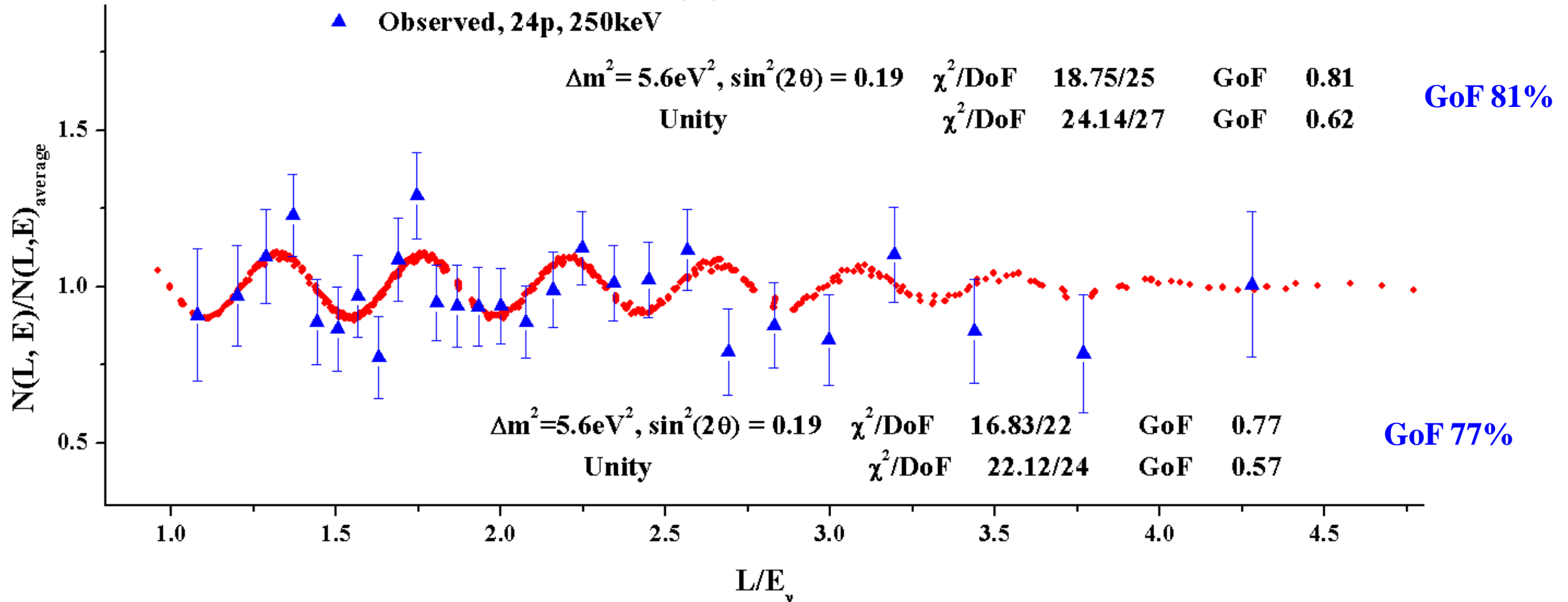
т.е. приблизительно одно стандартное отклонение!

**0.25 метра, 24 позиций,
0.25 MeV по энергии**

$$\Delta m_{14}^2 \sim 5.6 \text{eV}^2$$

$$\sin^2 2\theta_{14} \sim 0.19$$

- Best fit $\Delta m^2 = 5.6 \text{eV}^2$, $\sin^2(2\theta) = 0.19$
- ▲ Observed, 24p, 250keV



Метод когерентного сложения результатов измерений для прямого наблюдения антинейтринных осцилляций (0.5 метра, 12 позиций по расстоянию, 0.5 MeV по энергии)

