



**“Анализ чувствительности  
осцилляционных реакторных  
экспериментов со средней базой к  
иерархии масс нейтрино”**



Научный руководитель: *Олег Титов*  
НИЦ КИ  
Студент: *Даниэль Попов*

# Мотивация

Решение проблемы иерархии масс важно для построения теоретических моделей масс и смешивания нейтрино, поиска CP-нарушения в лептонном секторе, более точного моделирования астрофизических процессов.

## Цель работы

Провести анализ чувствительности реакторных экспериментов к иерархии масс, а именно:

- Влияние энергетического разрешения детектора
- Влияние топливного состава реактора
- Влияние спектральных искажений

Предложить метод обработки результатов измерений.



**Бруно  
Понтекорво**

## **Нейтринные осцилляции -**

*периодический* процесс, при котором пучок нейтрино определенного сорта, двигаясь в вакууме или в веществе, полностью или частично превращается в пучок нейтрино другого сорта.

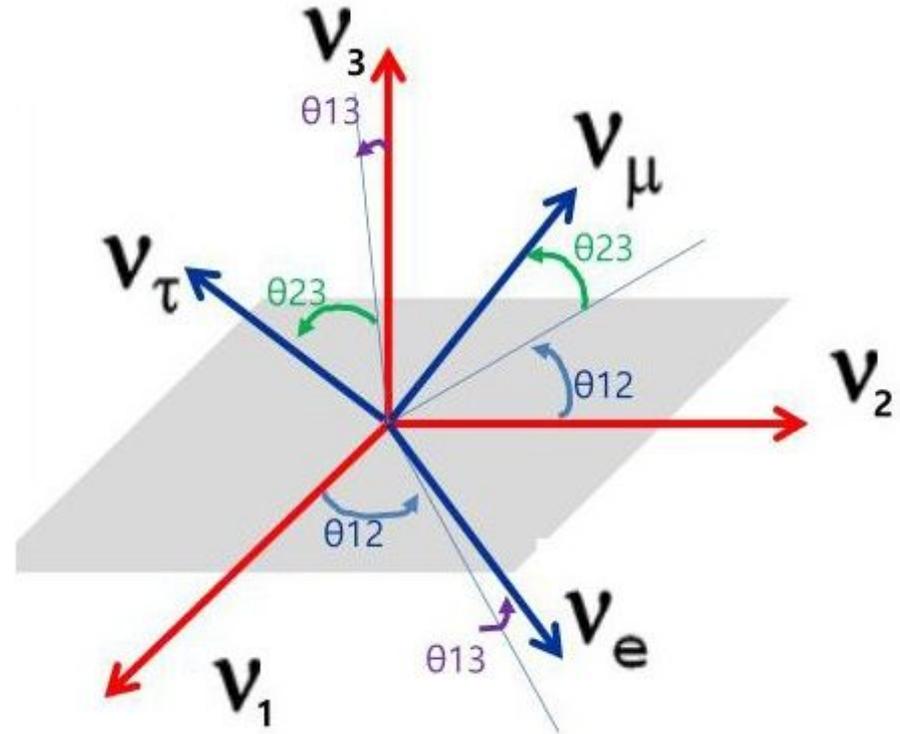
### ***Необходимые условия:***

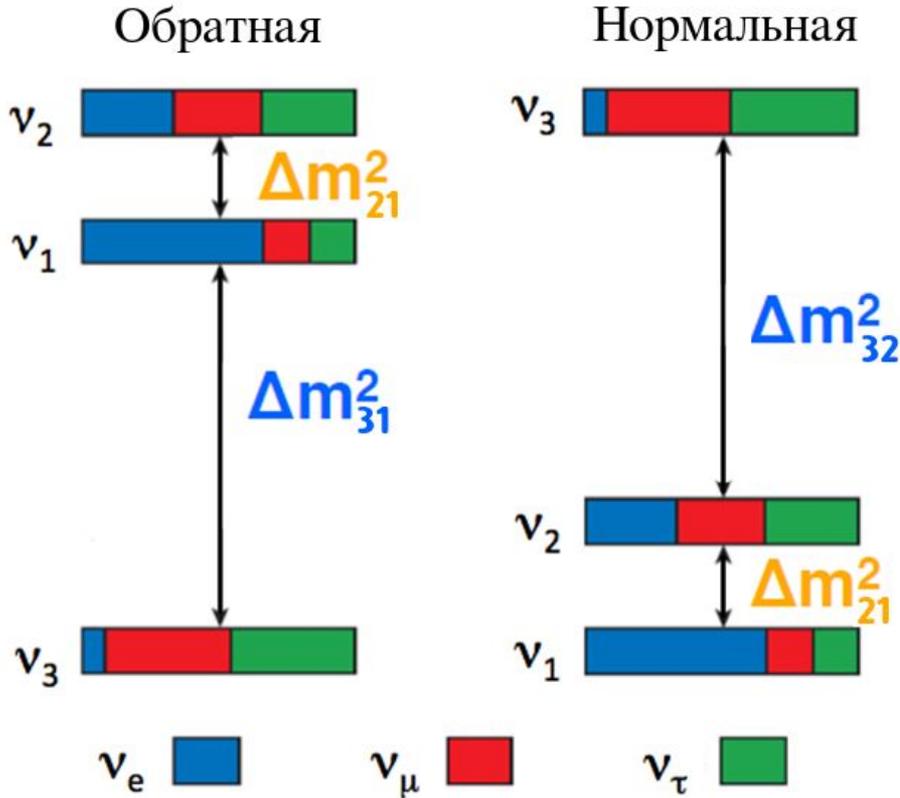
1. Наличие у нейтрино ненулевой массы
2. Смешивание нейтринных состояний

# Механизм смешивания

$$\begin{pmatrix} |\nu_e\rangle \\ |\nu_\mu\rangle \\ |\nu_\tau\rangle \end{pmatrix} = \mathbf{U}_{\text{PMNS}} \begin{pmatrix} |\nu_1\rangle \\ |\nu_2\rangle \\ |\nu_3\rangle \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{U}_{\text{PMNS}} = \begin{pmatrix} U_{e1} & U_{e2} & U_{e3} \\ U_{\mu 1} & U_{\mu 2} & U_{\mu 3} \\ U_{\tau 1} & U_{\tau 2} & U_{\tau 3} \end{pmatrix}$$



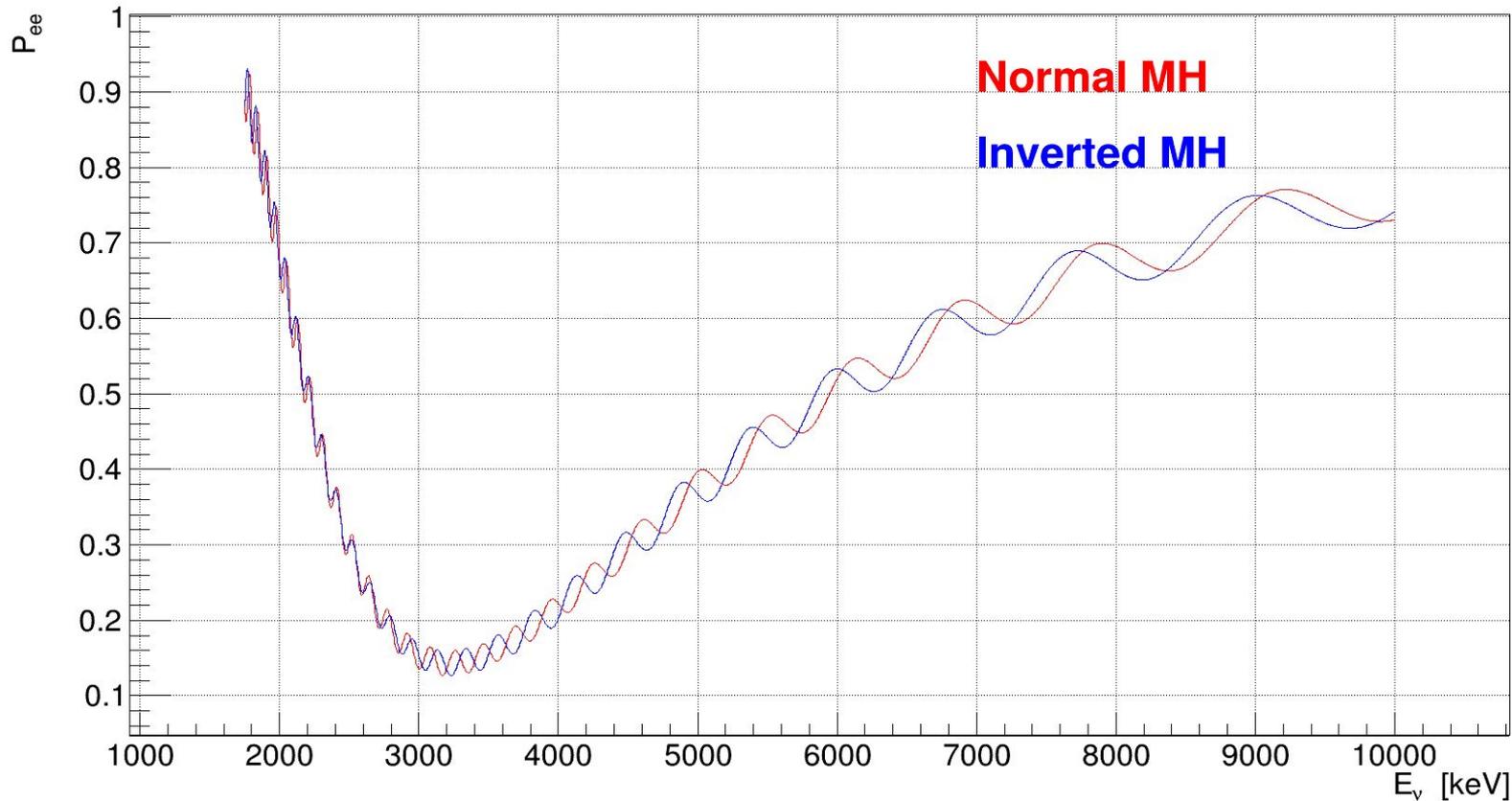


Измерены  $\Delta m_{21}^2$ , углы смешивания  $\theta_{ij}$  и  $|\Delta m_{32}^2|$ .

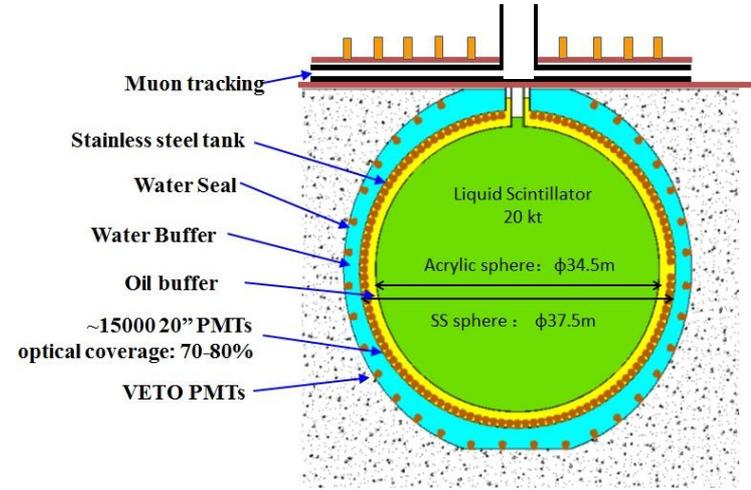
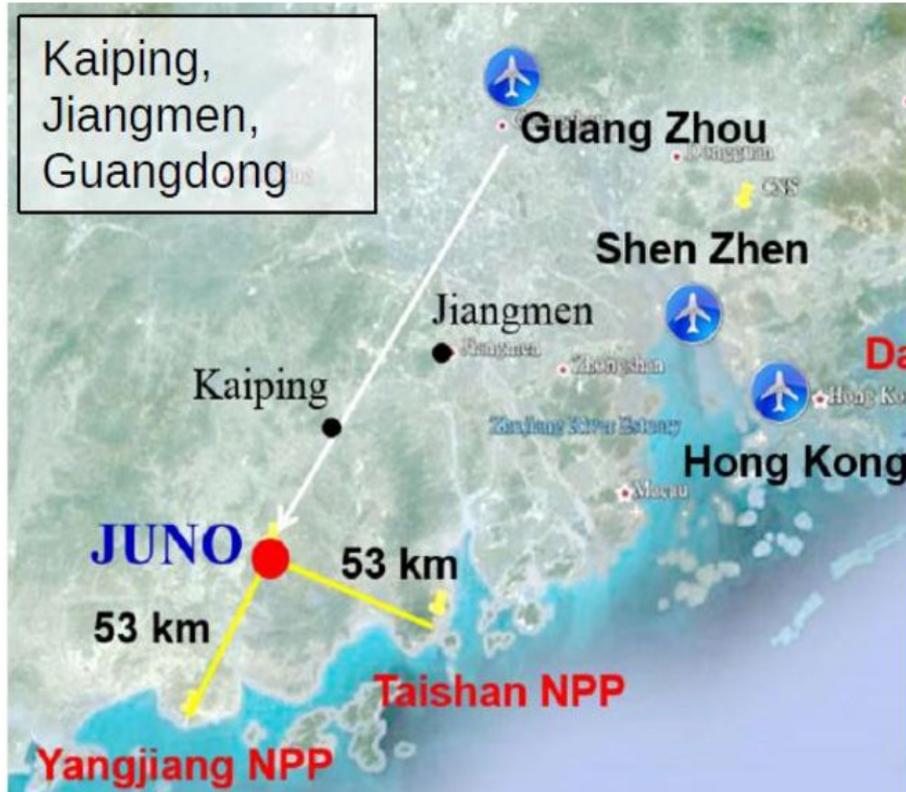
Неизвестно, какая иерархия реализуется в природе:

$m_3 > m_2$  или  $m_3 < m_2$  ?

# Вероятность выживания $P_{ee}$ , $L=53$ km

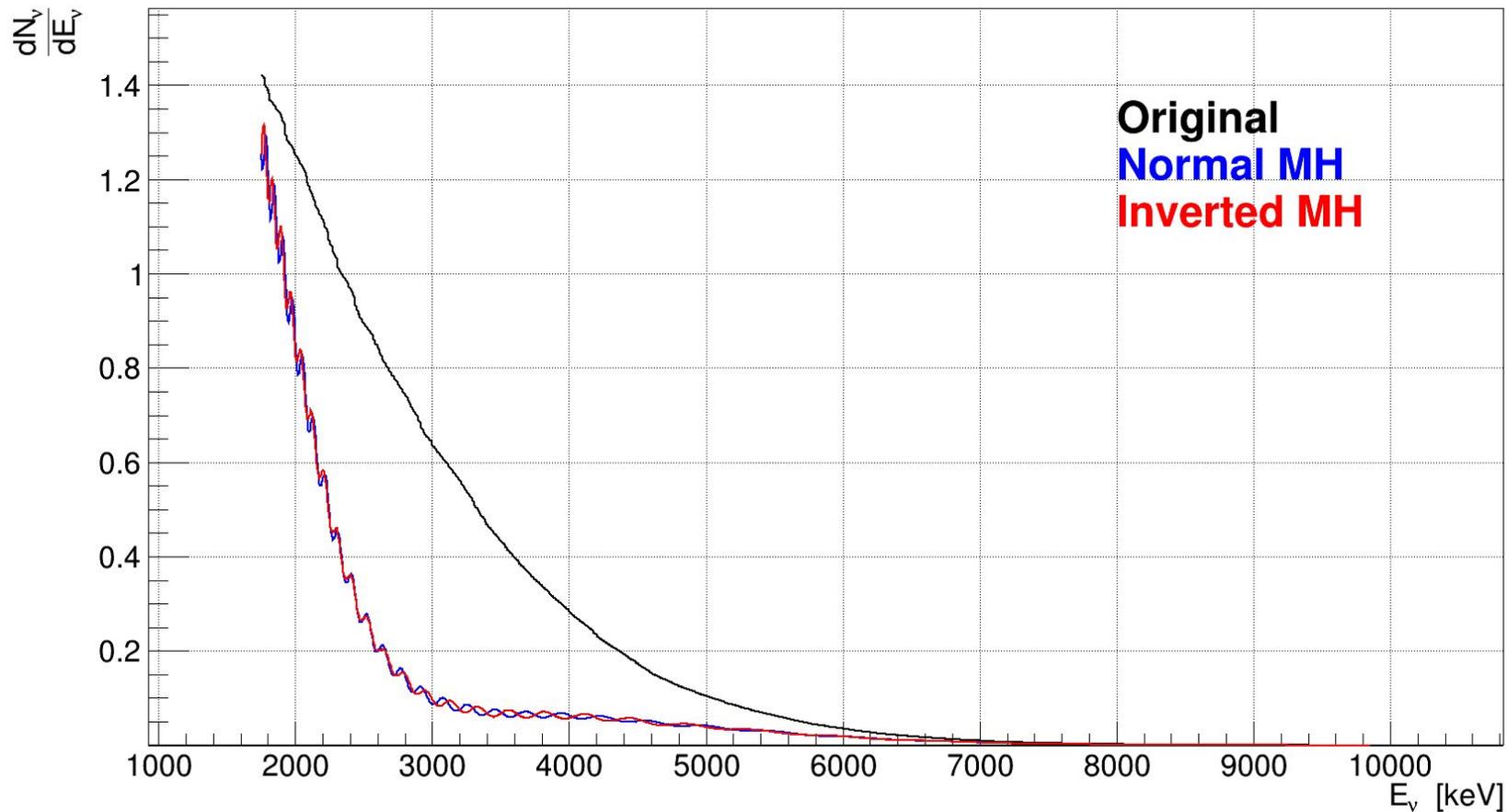


# Эксперимент JUNO

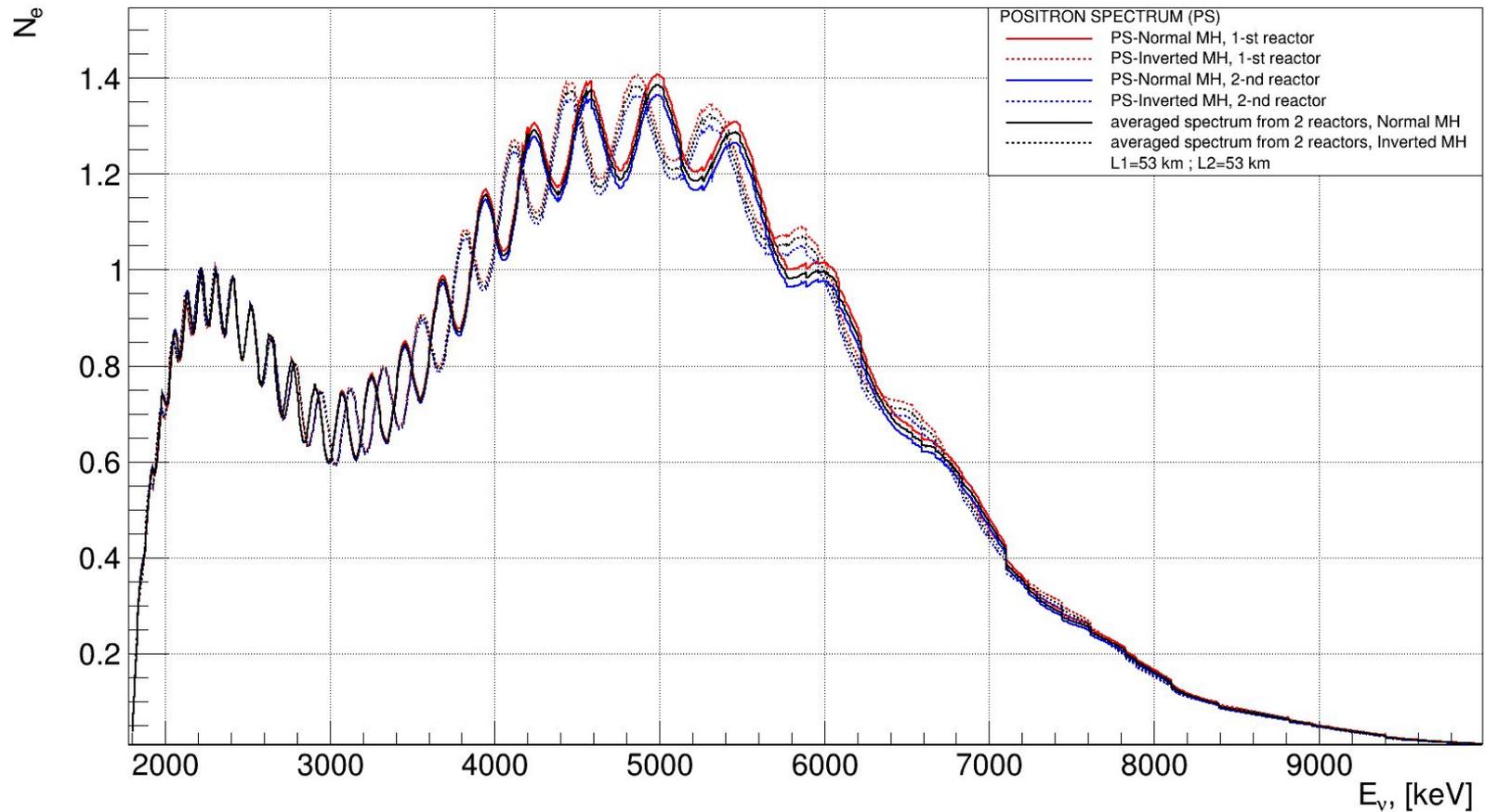


Энергетическое разрешение - 3% для энергии 1 MeV.  
Планируется определить знак и значение  $\Delta m_{31}^2$ , уточнить значения  $\Delta m_{21}^2$  и  $\theta_{12}$ .

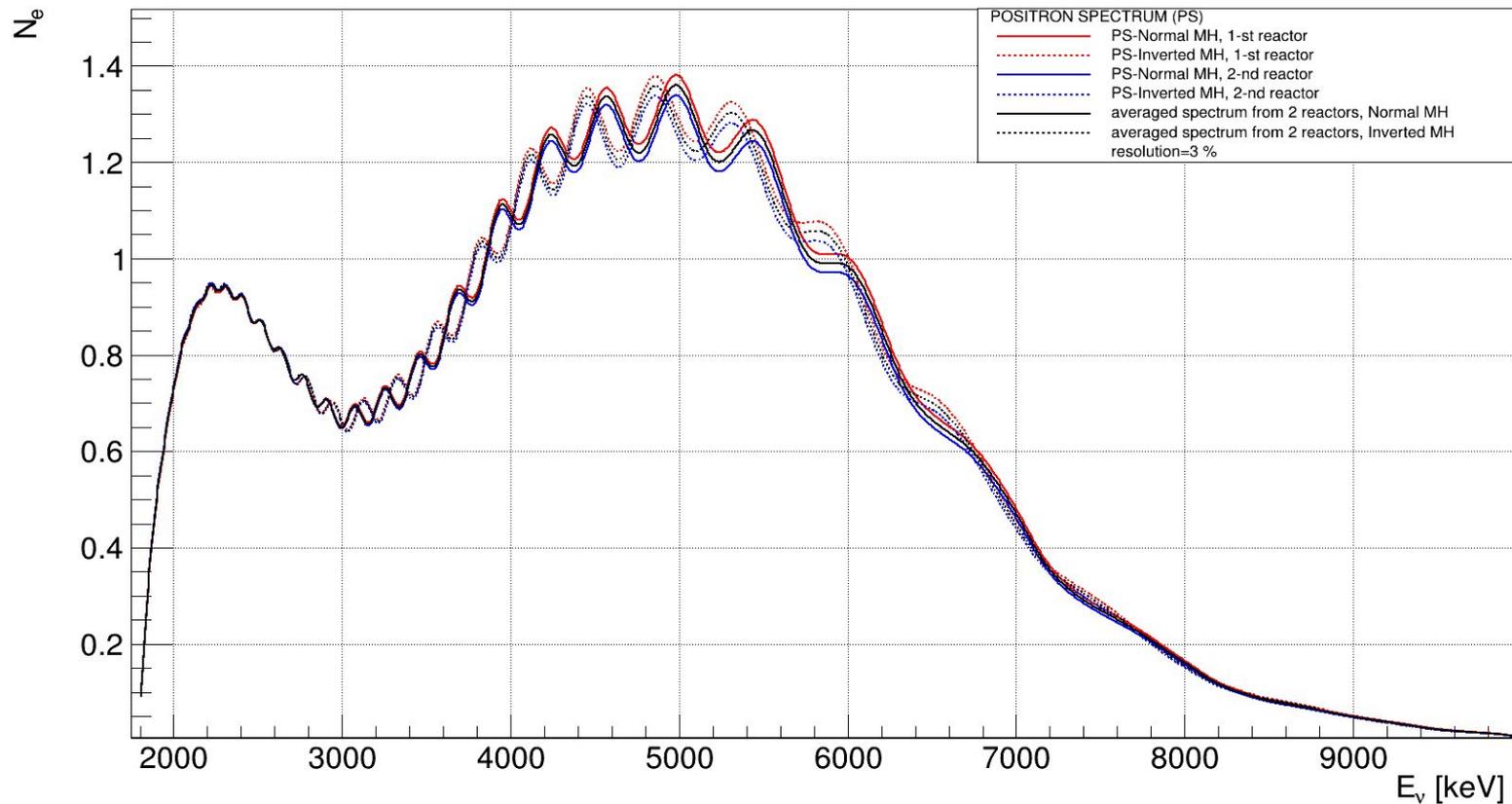
# Спектры реакторных антинейтрино



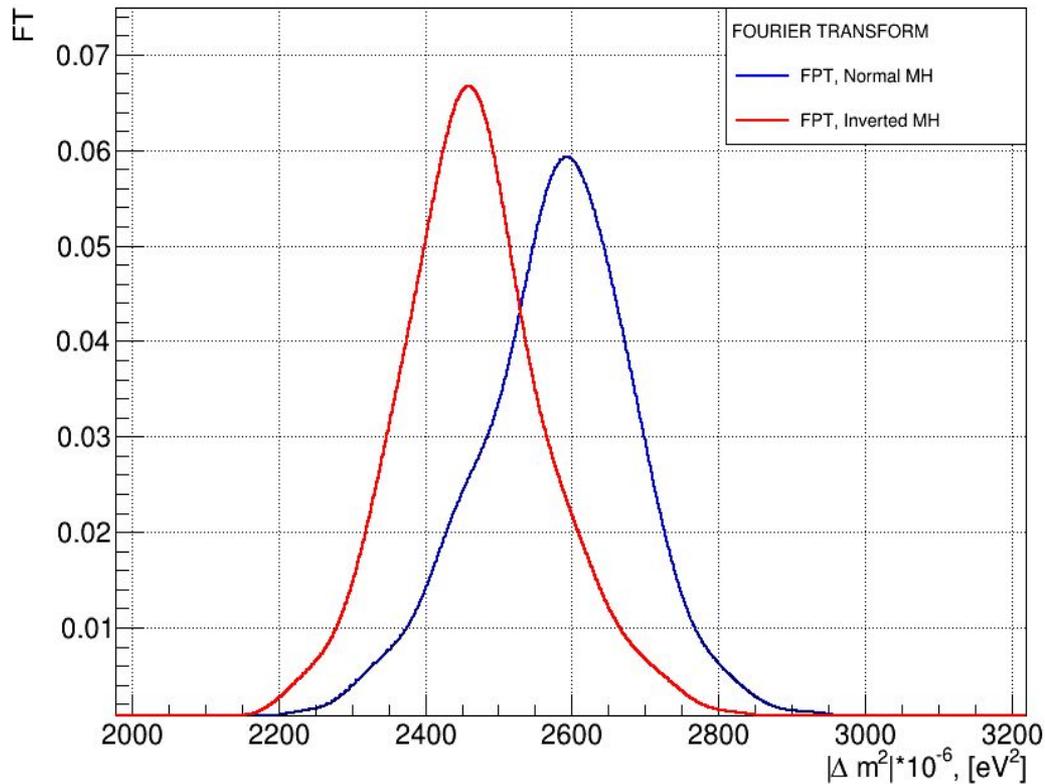
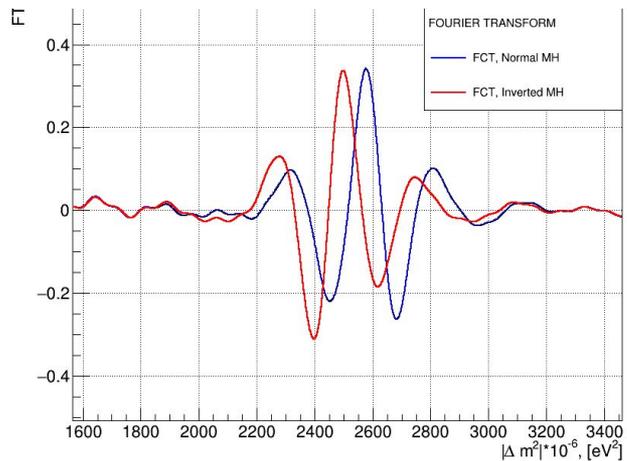
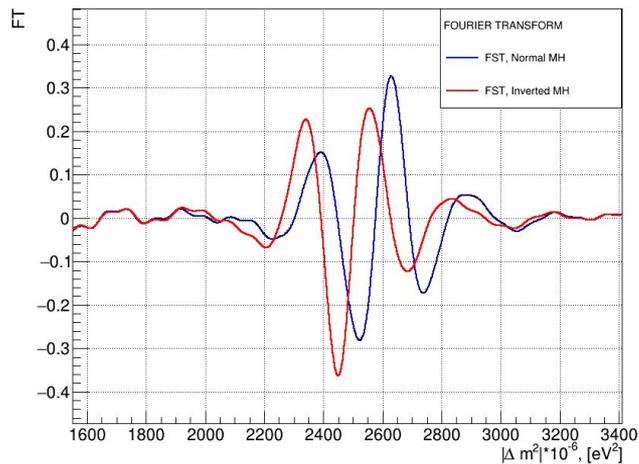
# Спектры ОБР



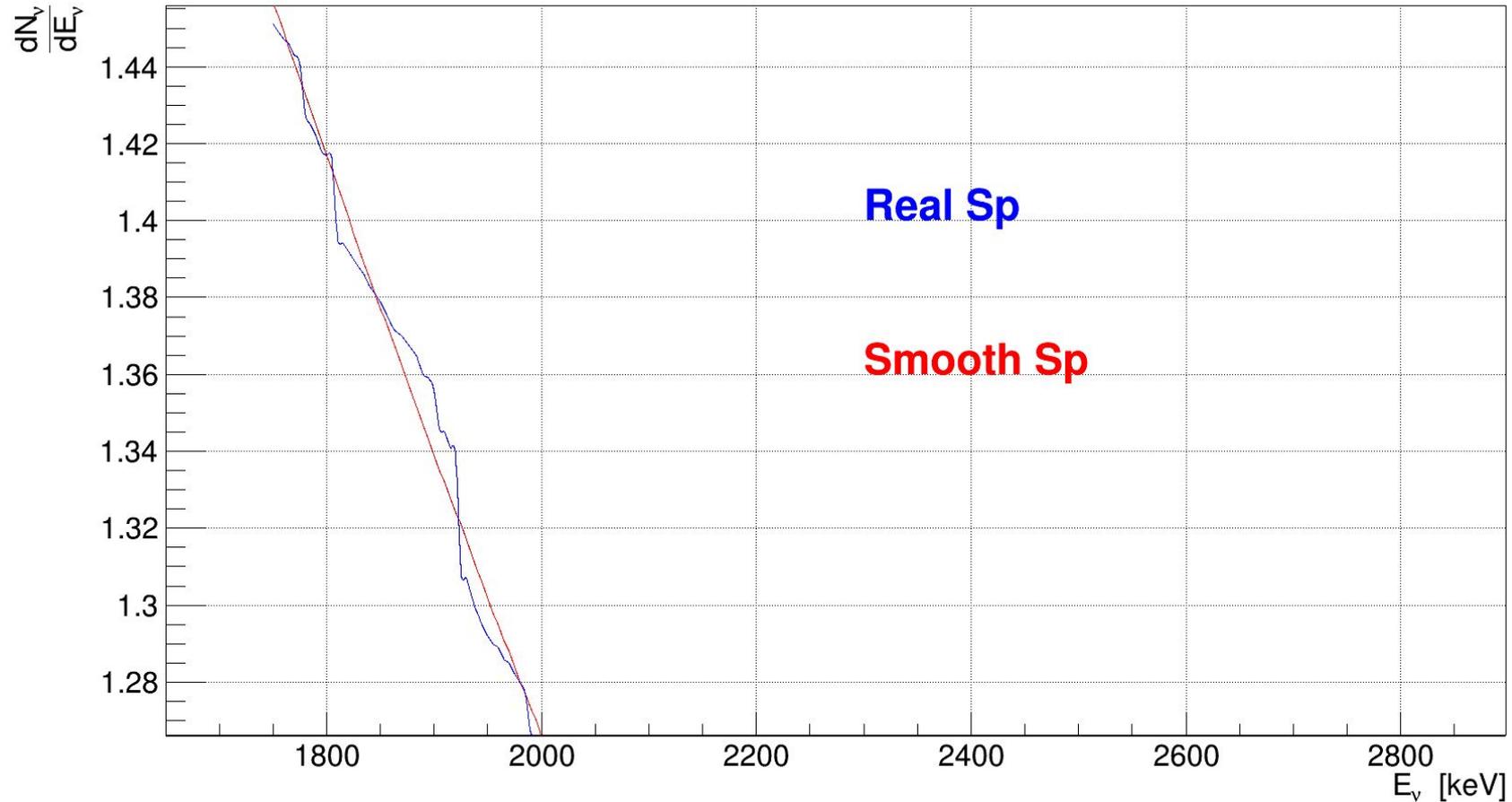
# Влияние энергетического разрешения детектора



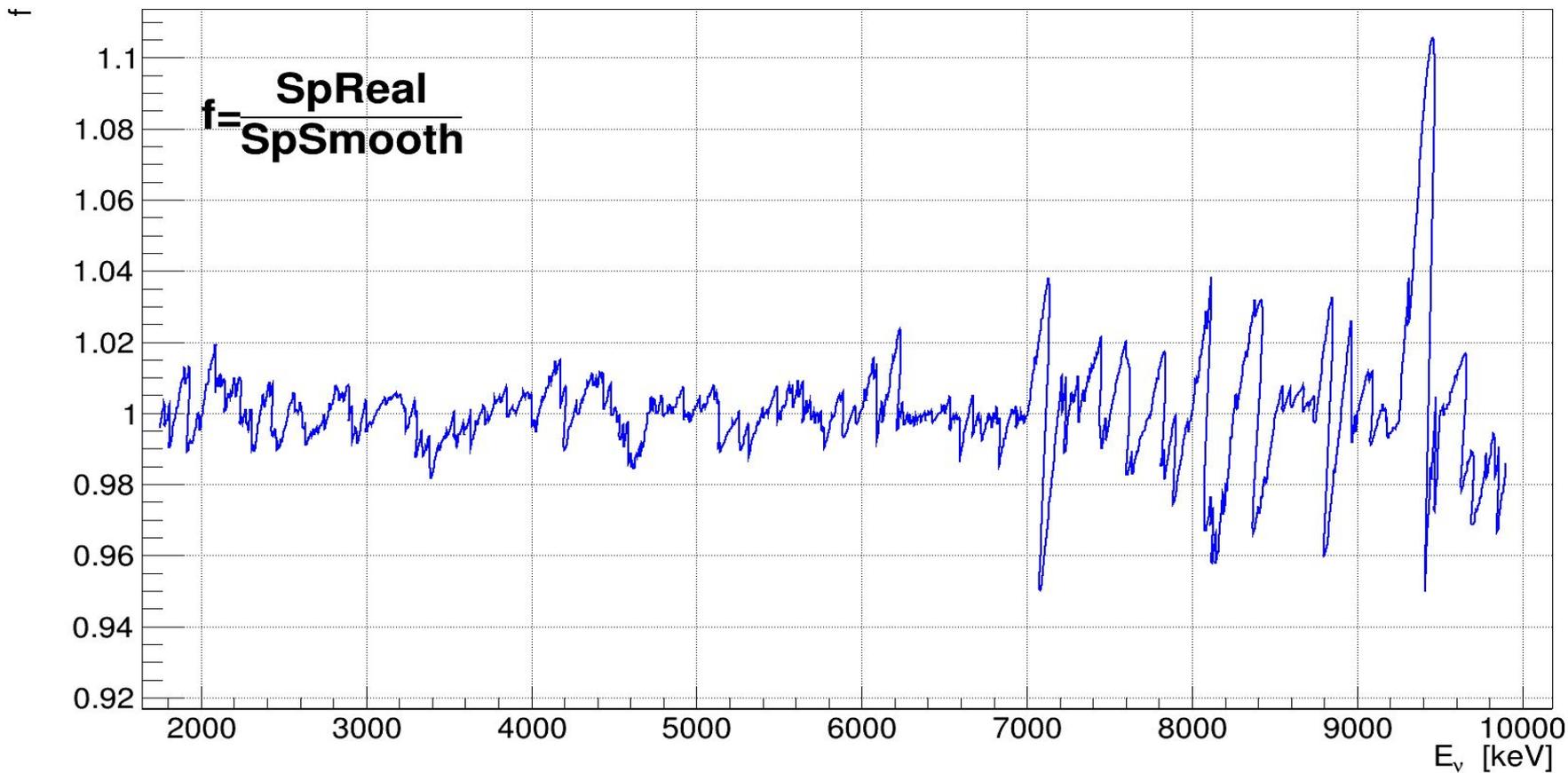
# Спектральный анализ: Фурье-образы



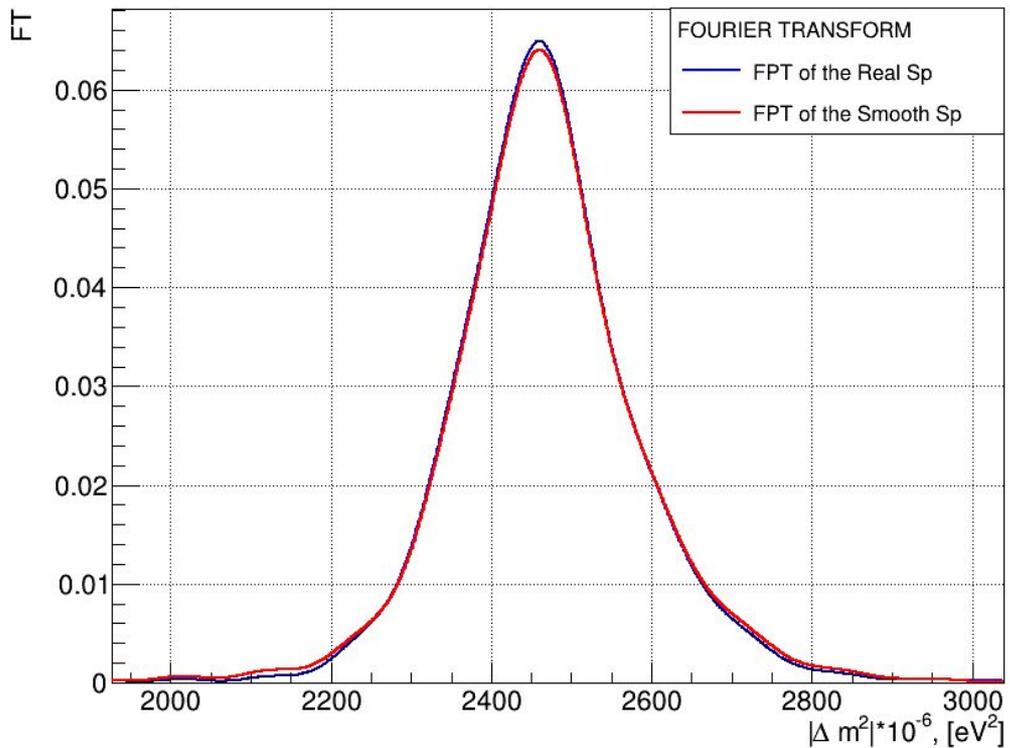
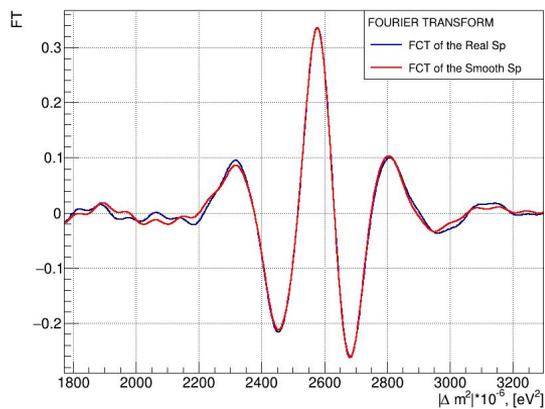
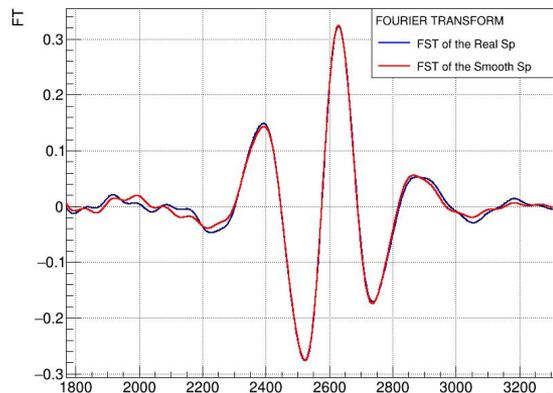
# Спектральные искажения



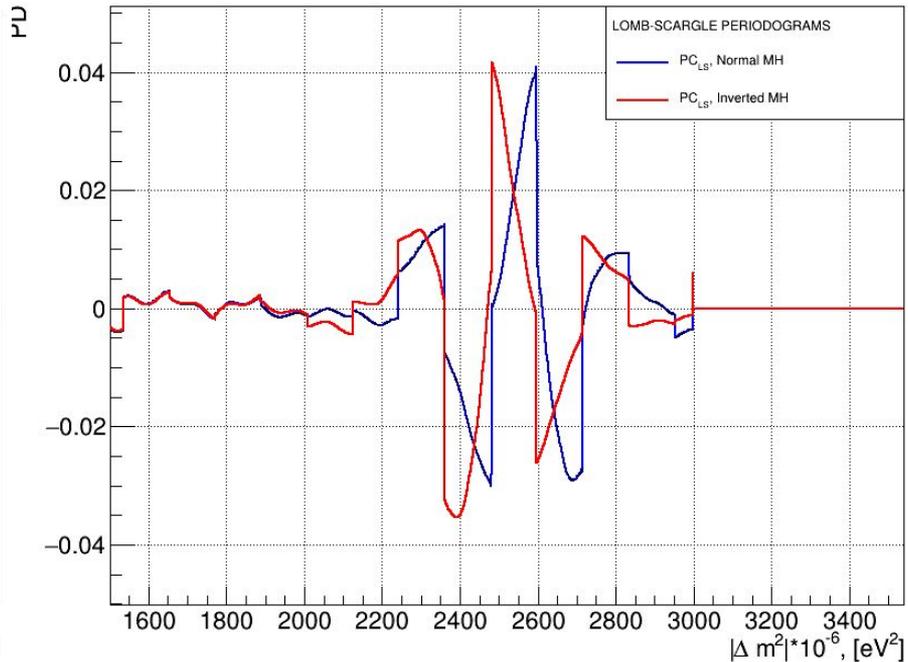
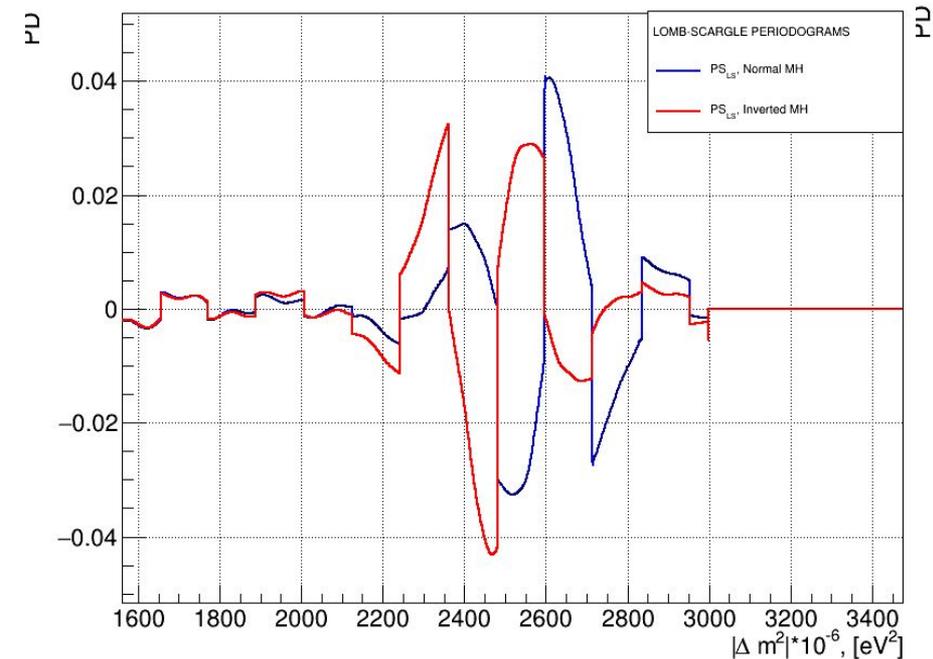
# Спектральные искажения

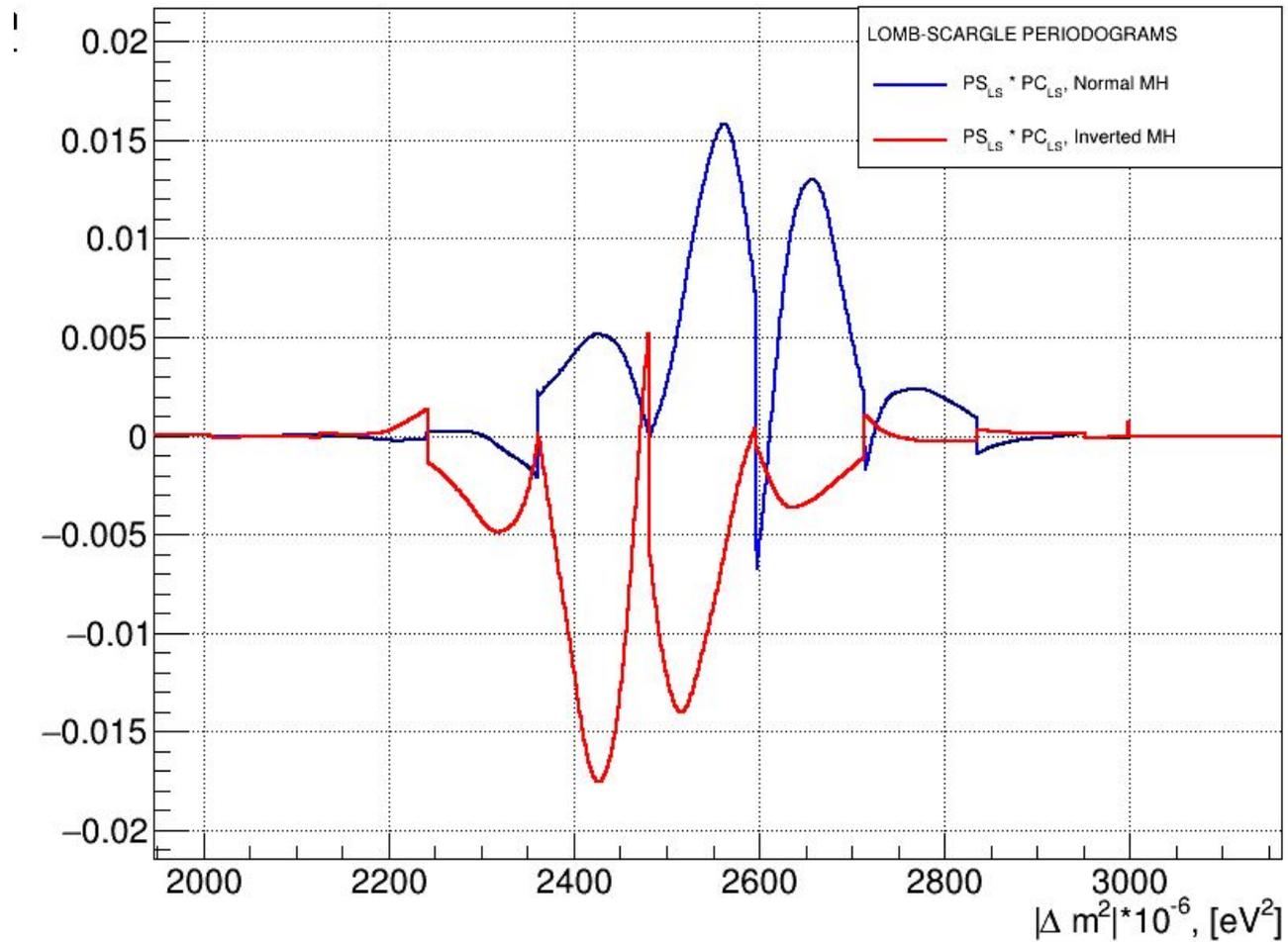


# Влияние спектральных искажений



# Спектральный анализ: *периодограммы*





# Заключение

- Предложен способ спектрального анализа для определения иерархии (периодограммы Ломба-Скэргла)
- Проведена оценка влияния энергетического разрешения
- Проведена оценка влияния спектральных искажений
- Проведена оценка влияния топливного состава реактора

Дальнейшие работы направлены на совершенствование периодограммной техники, разработки новых способов анализа и решению обратной задачи - определения топливного состава реактора по спектрам ОБР.

# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!



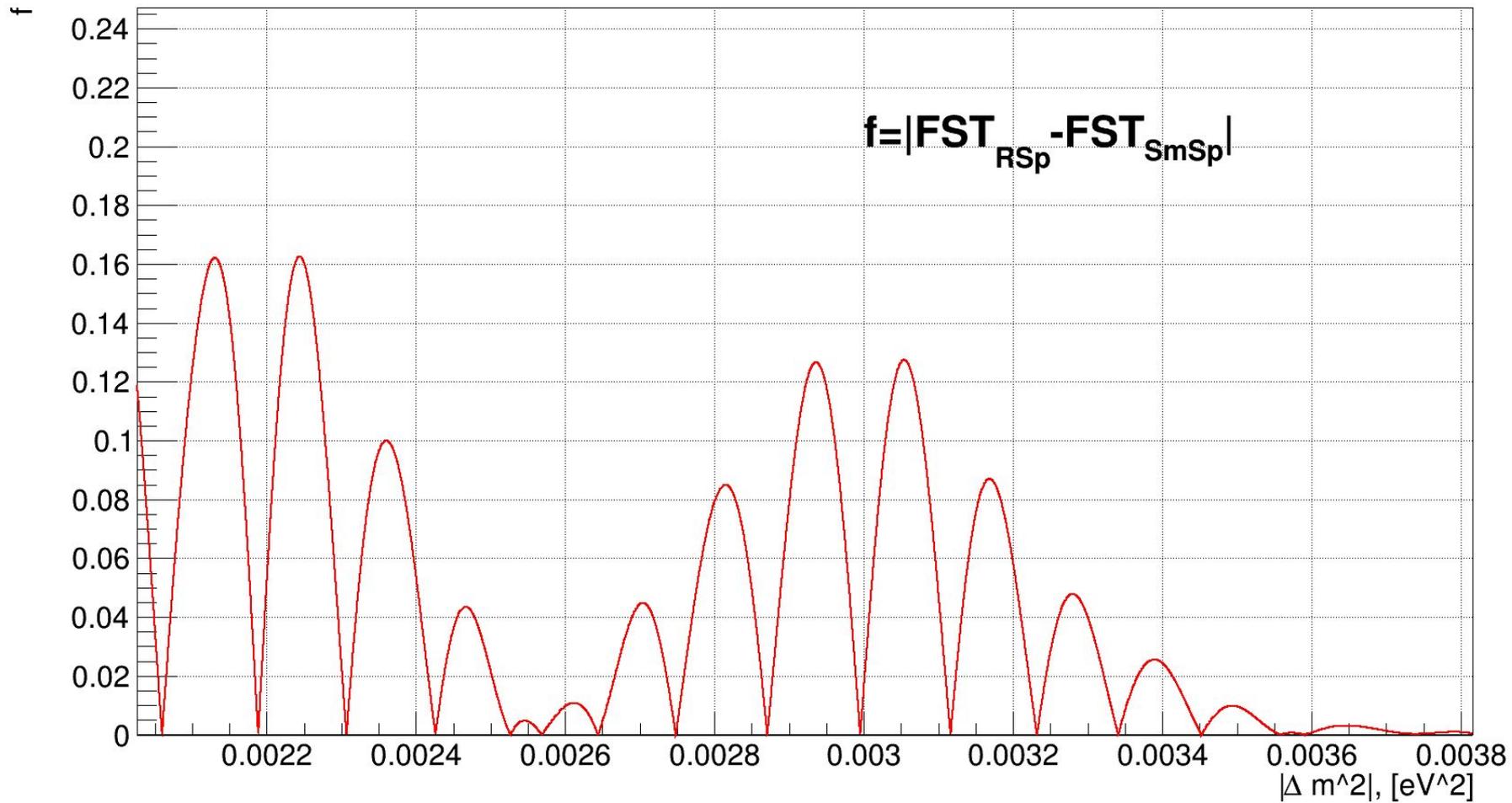
Illustration: © Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences





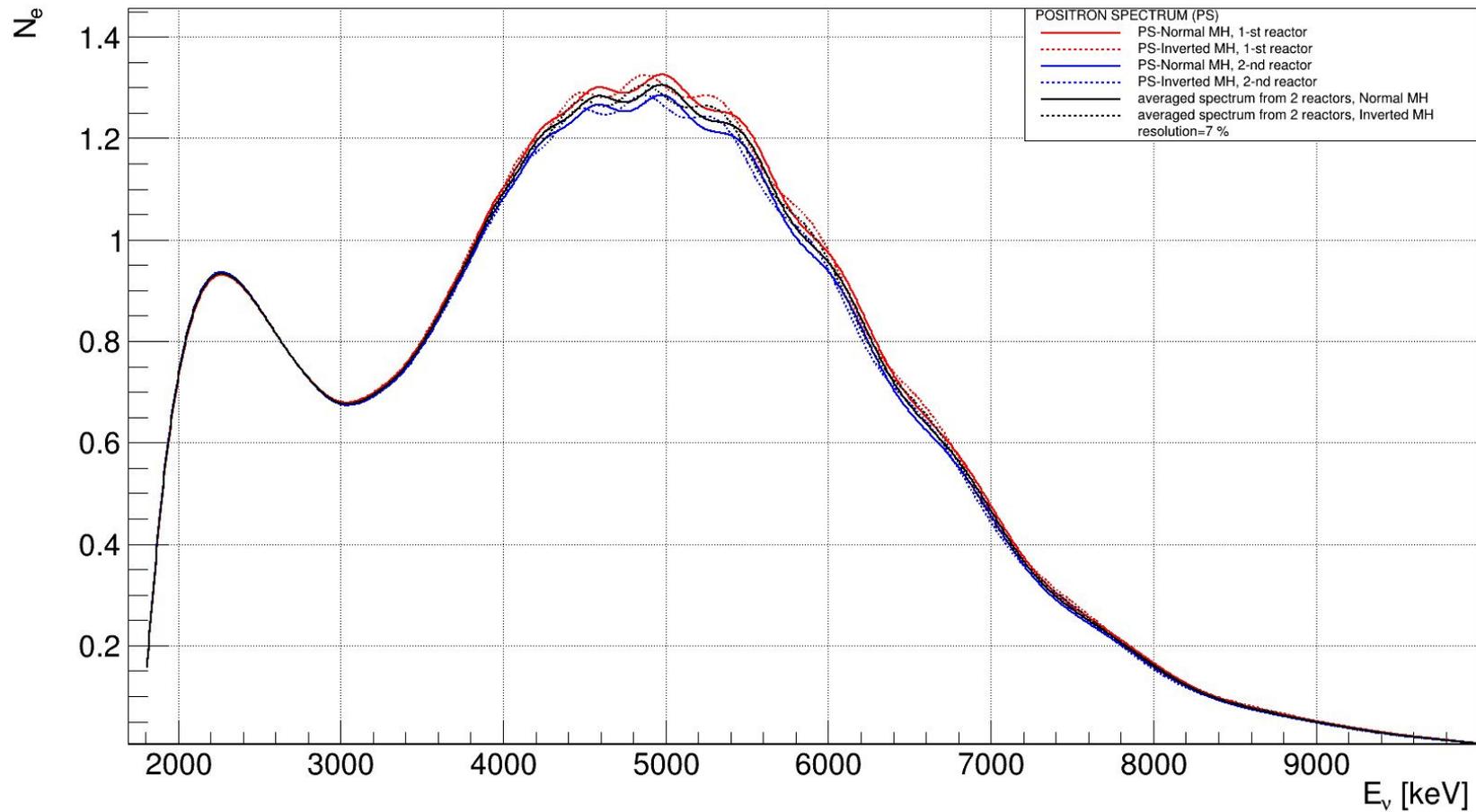


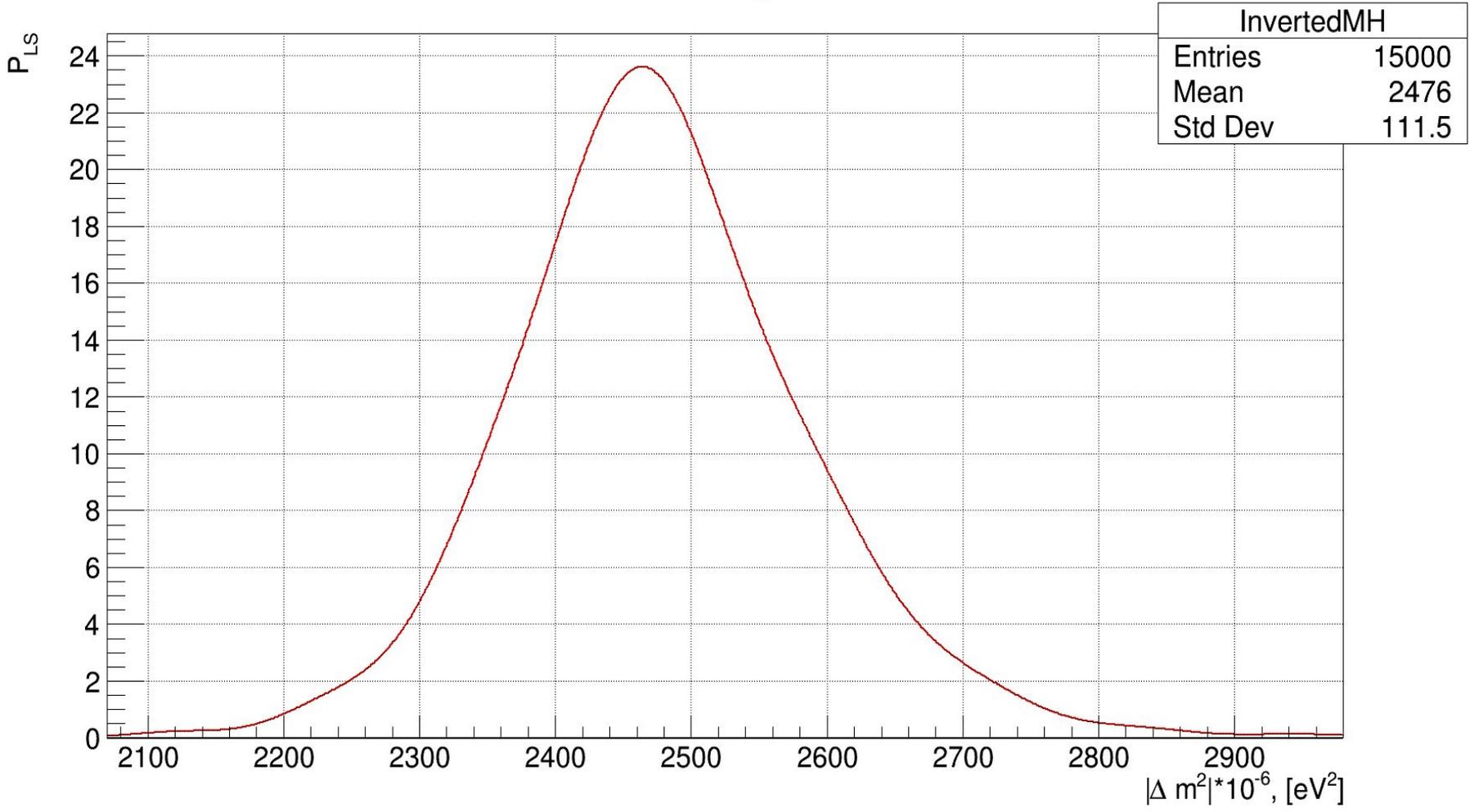




$$P_{ee} = 1 - \sin^2 2\theta_{13} (\cos^2 \theta_{12} \sin^2 \Delta_{31} + \sin^2 \theta_{12} \sin^2 \Delta_{32}) - \cos^4 \theta_{13} \sin^2 2\theta_{12} \sin^2 \Delta_{21}$$

$$\Delta_{ij} = 1.267 \Delta m_{ij}^2 [\text{eV}^2] \frac{L[\text{M}]}{E[\text{MeV}]}$$





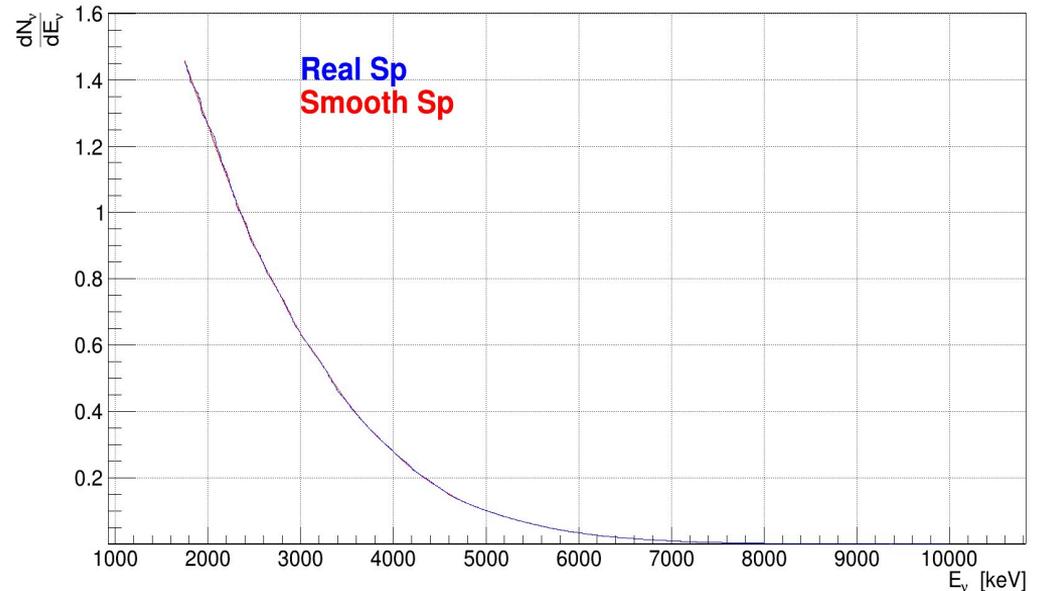
# Реакторные эксперименты

Реактор - источник электронных антинейтрино с энергиями  $< 10$  МэВ, которые регистрируются по реакции обратного бета-распада:

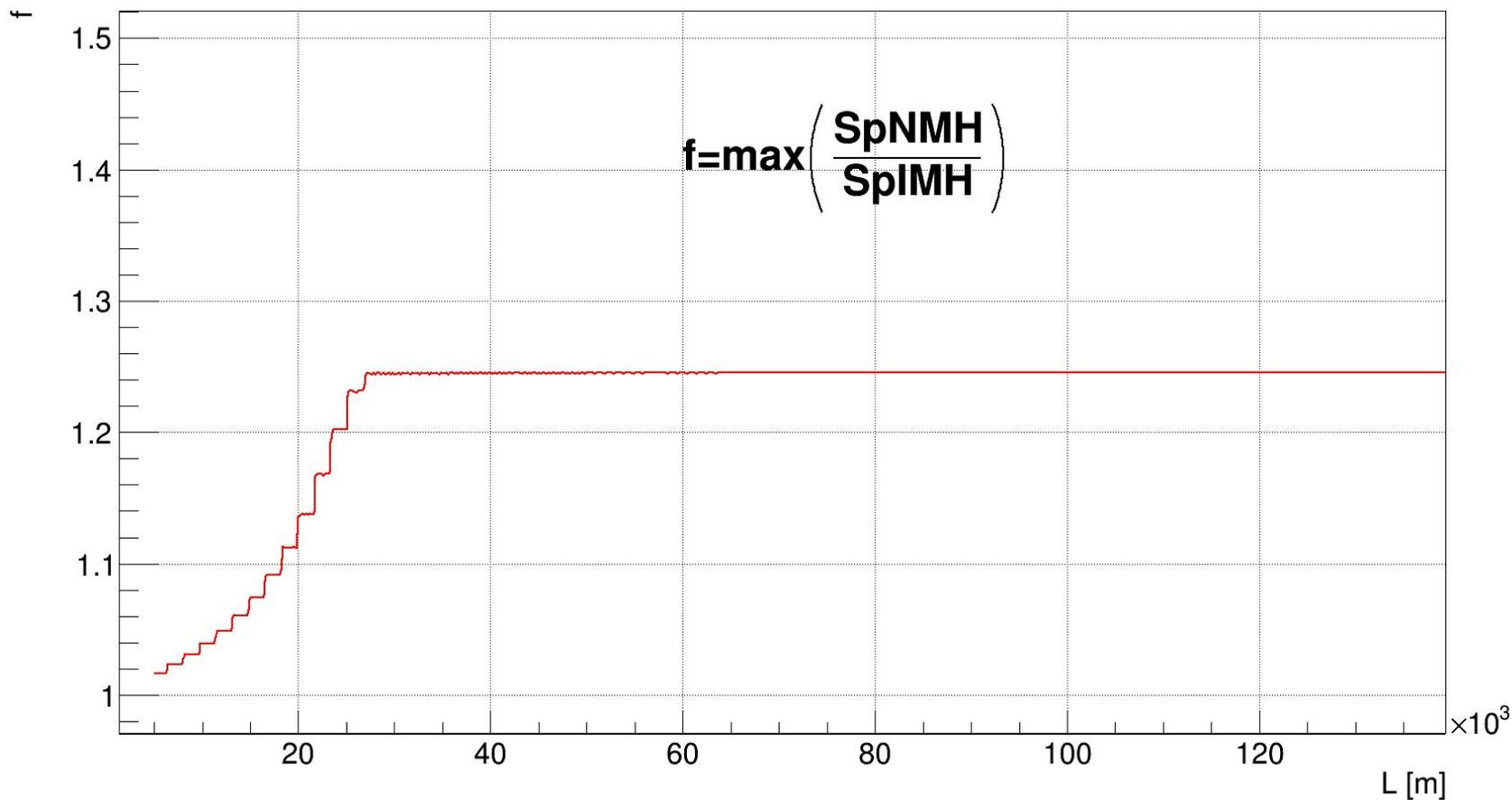


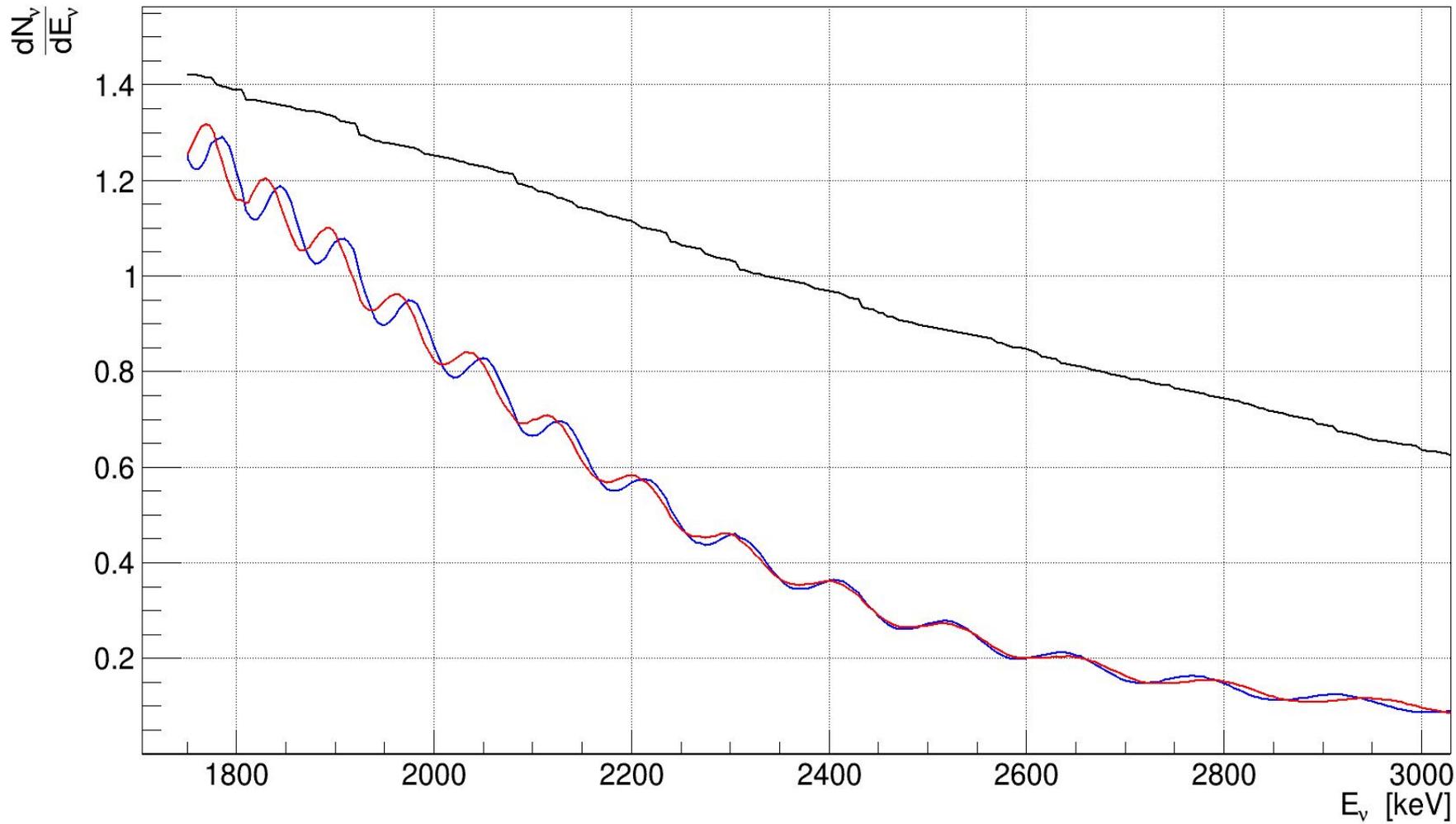
$$E_{\bar{\nu}_e \text{ порог}} = 1.806 \text{ MeV}$$

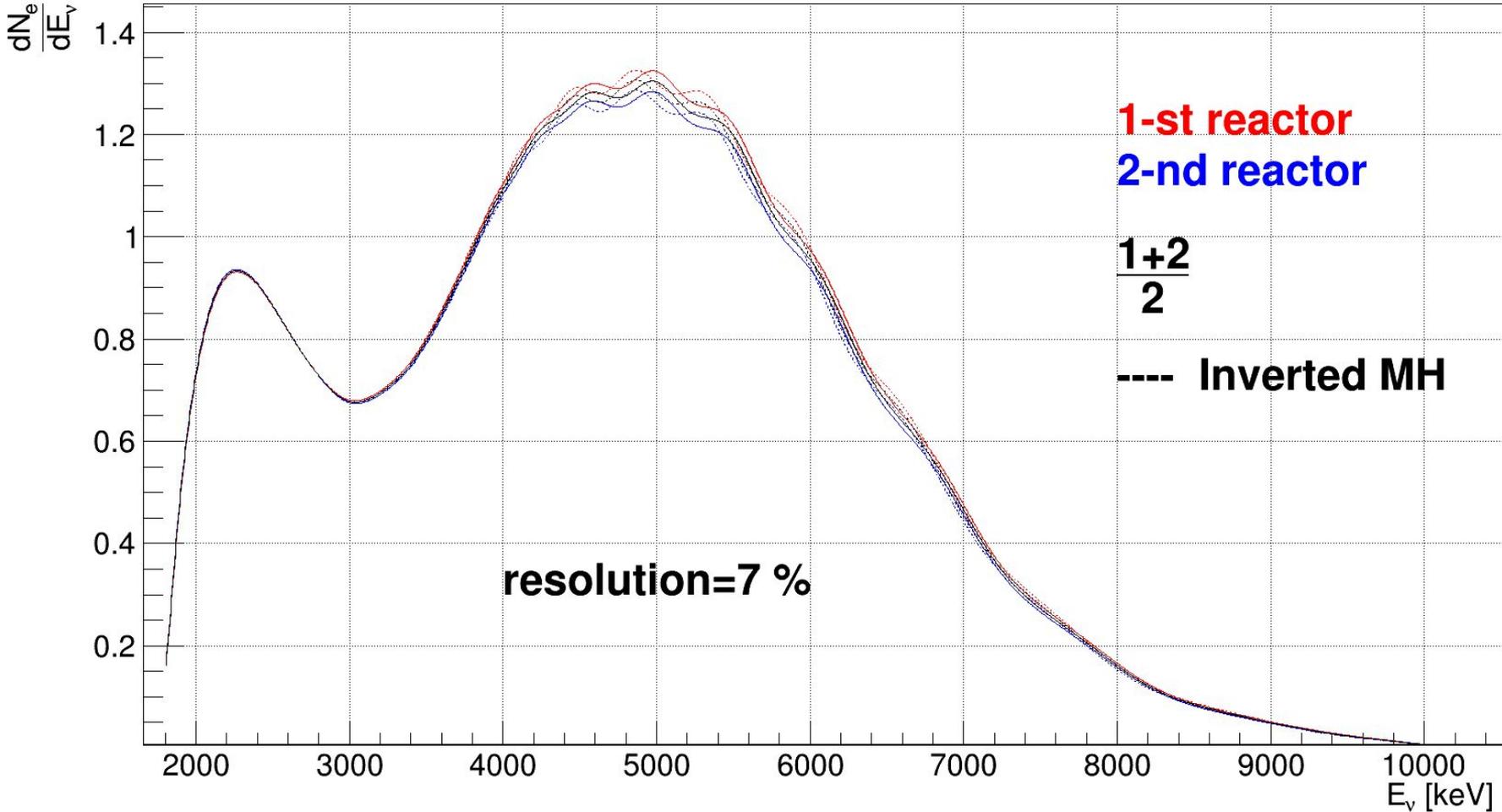
**Проблема спектральных искажений**

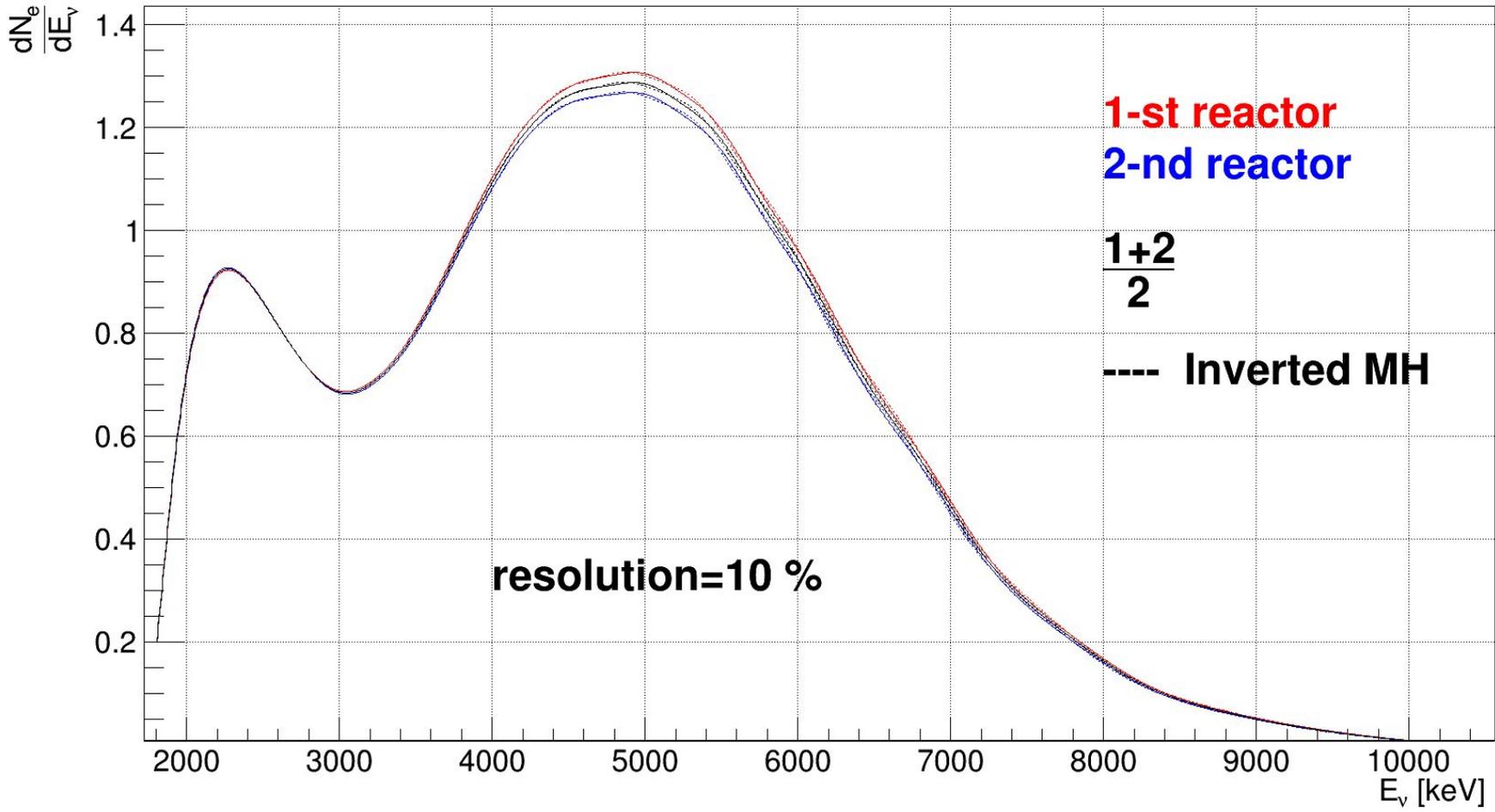


# Отношение амплитуд осцилляций в зависимости от пройденного расстояния









# Матрица PMNS