



“Разработка программного обеспечения для расчёта спектров реакторных антинейтрино”



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

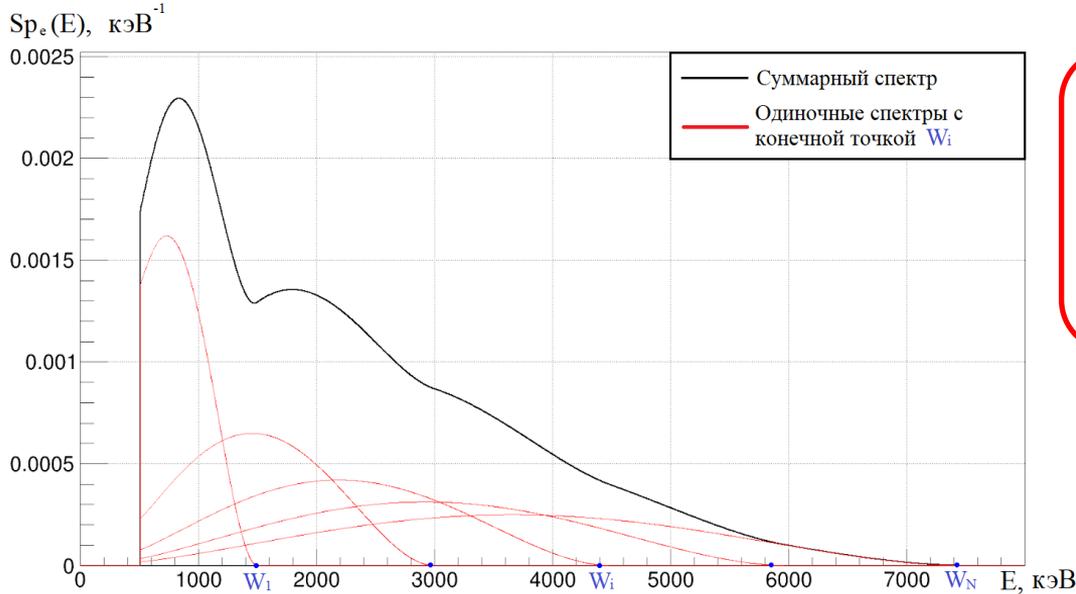
Мотивация

Знание спектров реакторных антинейтрино представляет большой интерес как для фундаментальных исследований (осцилляционные реакторные эксперименты), так и для прикладных задач (нейтринный метод мониторинга работы ядерных реакторов).

Цель работы

- 1) Предложить математическую модель (алгоритм) для конверсии кумулятивных бета-спектров в спектры антинейтрино
- 2) Разработать на основе полученной модели программное обеспечение для расчёта реакторных спектров антинейтрино

Реакторные спектры: теоретический аспект



$$(1) Sp_e(E, W_i) = \underbrace{k_i}_{\text{норм.}} \cdot \underbrace{p E(E - W_i)^2}_{\text{фактор фазового пр-ва}} \cdot \underbrace{\mathcal{F}(Z, E)}_{\text{ф-ция Ферми}} \cdot \underbrace{\delta_f^b(Z, E)}_{\text{поправки}}$$

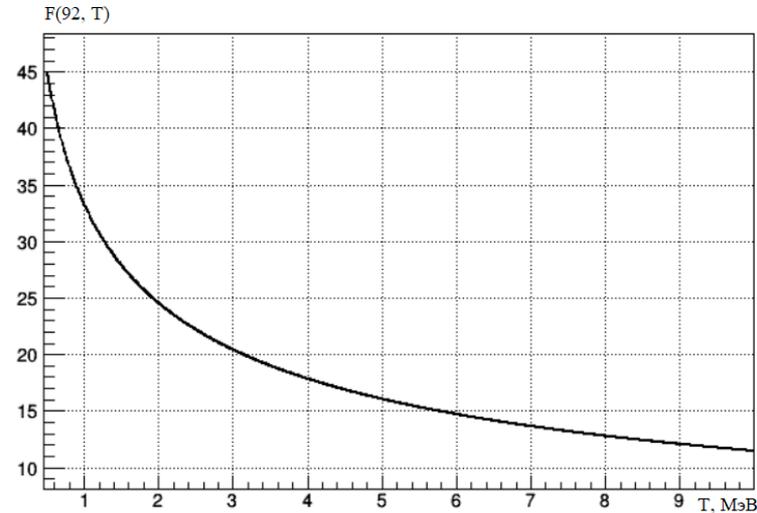
$$(2) Sp_{\nu}(E_{\nu}, W_i) = Sp_e(W_i - E, W_i)$$

$$(3) Sp_{e,\nu}(E) = \sum_{i=1}^N Sp_{e,\nu}(E, W_i)$$

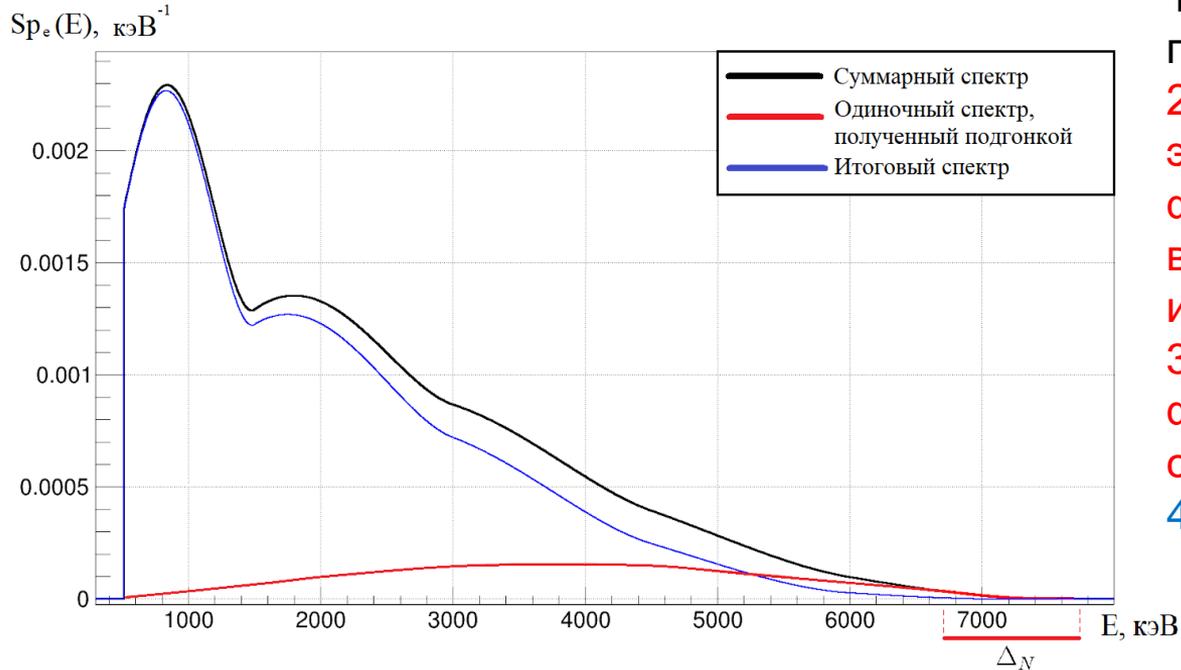
$$\mathcal{F} = 2(\gamma + 1)(2p_e R)^{(2\gamma-1)} e^{(\pi\alpha Z_f E_e/p_e)} \cdot \frac{|\Gamma(\gamma + i\alpha Z_f E_e/p_e)|^2}{\Gamma(2\gamma + 1)^2}$$

Функция Ферми

$$\gamma = \sqrt{1 - (\alpha Z_f)^2}$$



Первичная конверсия



1) Выбор области ΔN на правой границе спектра ;

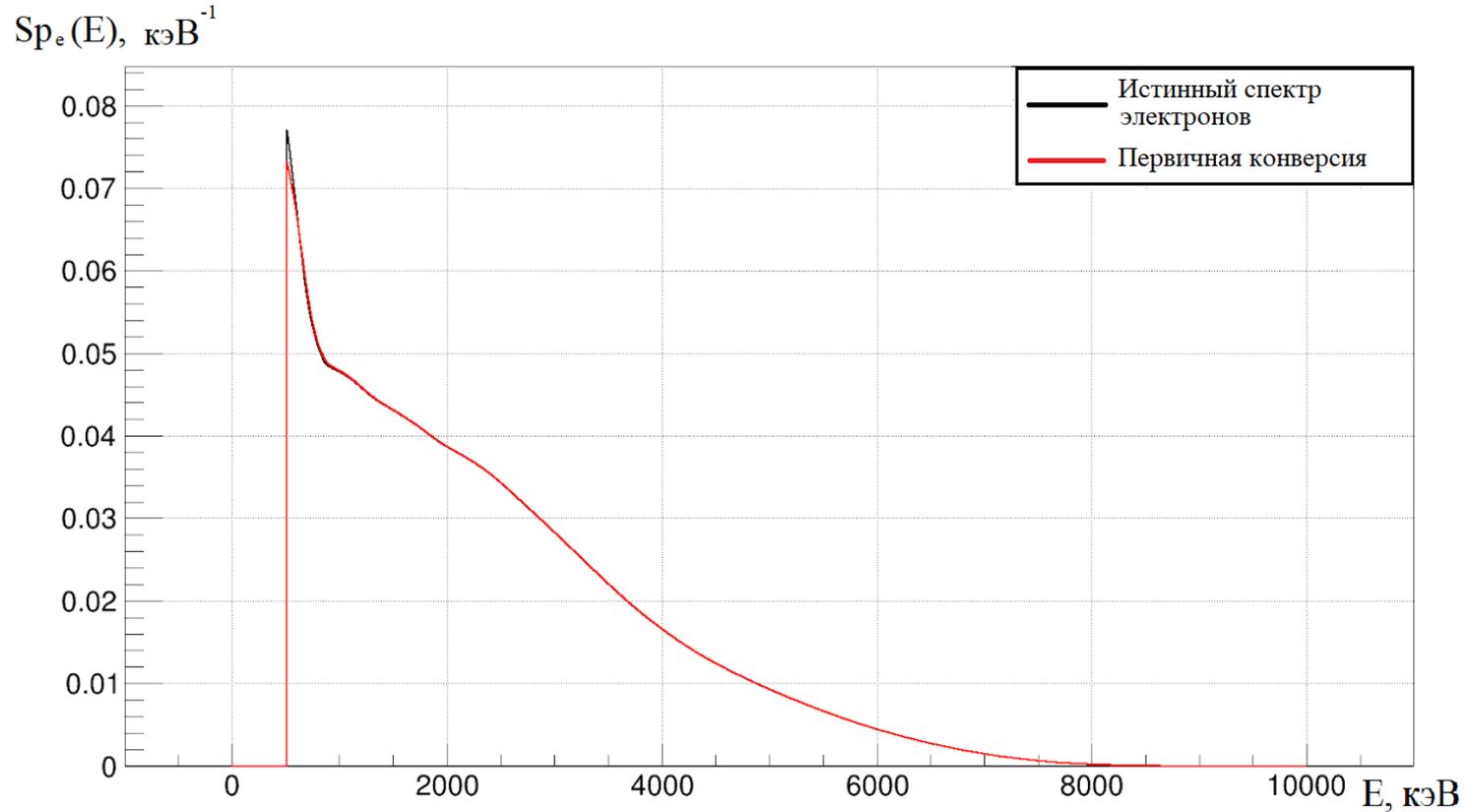
2) Подгонка экспериментальных данных функцией одиночного спектра с варьируемыми параметрами k_i и W_i на области ΔN ;

3) Продолжение полученной функции до левой границы спектра ;

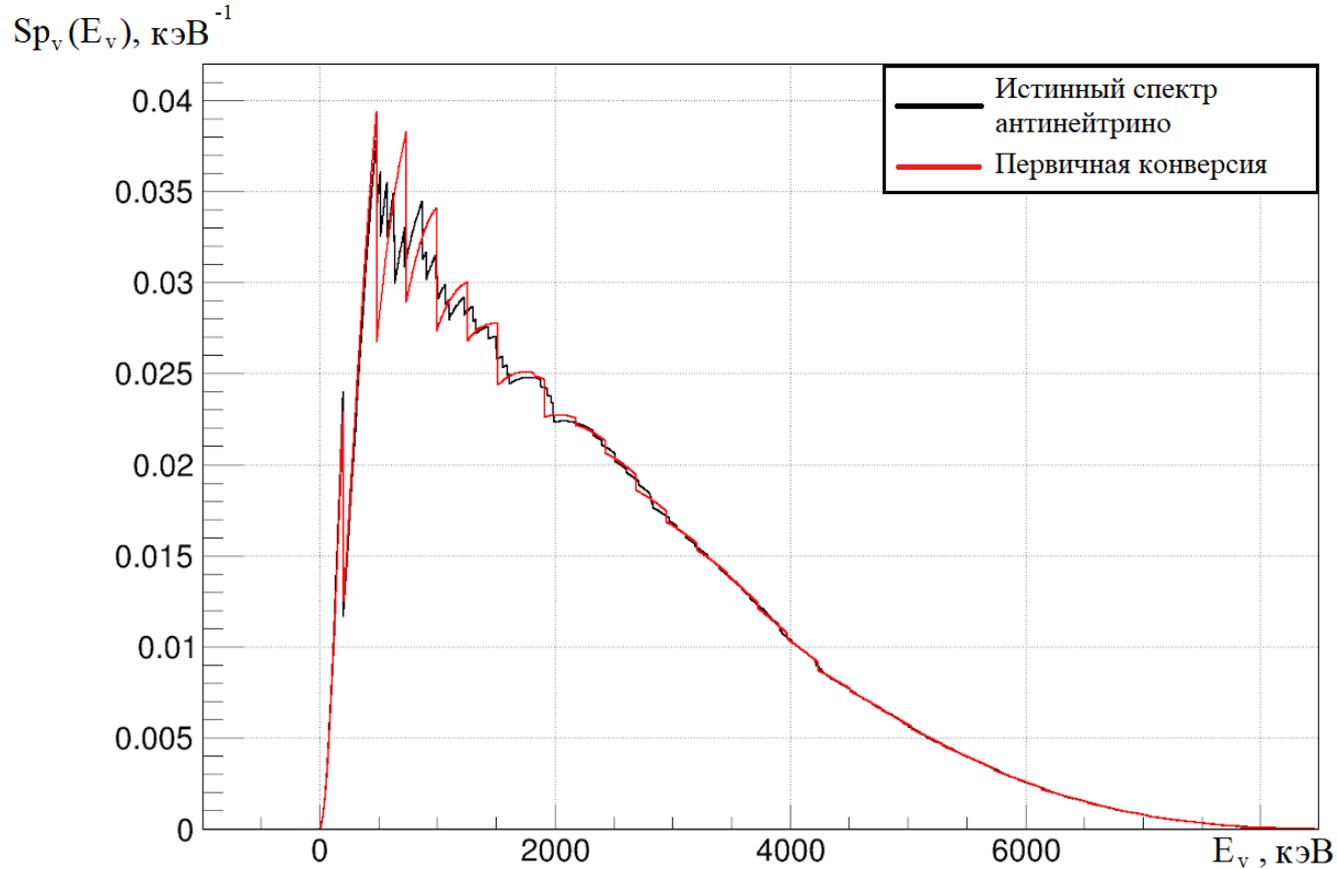
4) Получение итогового спектра

$$Sp_e(E, W_i) = k_i \sqrt{E^2 - m_e^2} E (E - W_i)^2 \mathcal{F}(E, Z) \delta(Z, A, E)$$

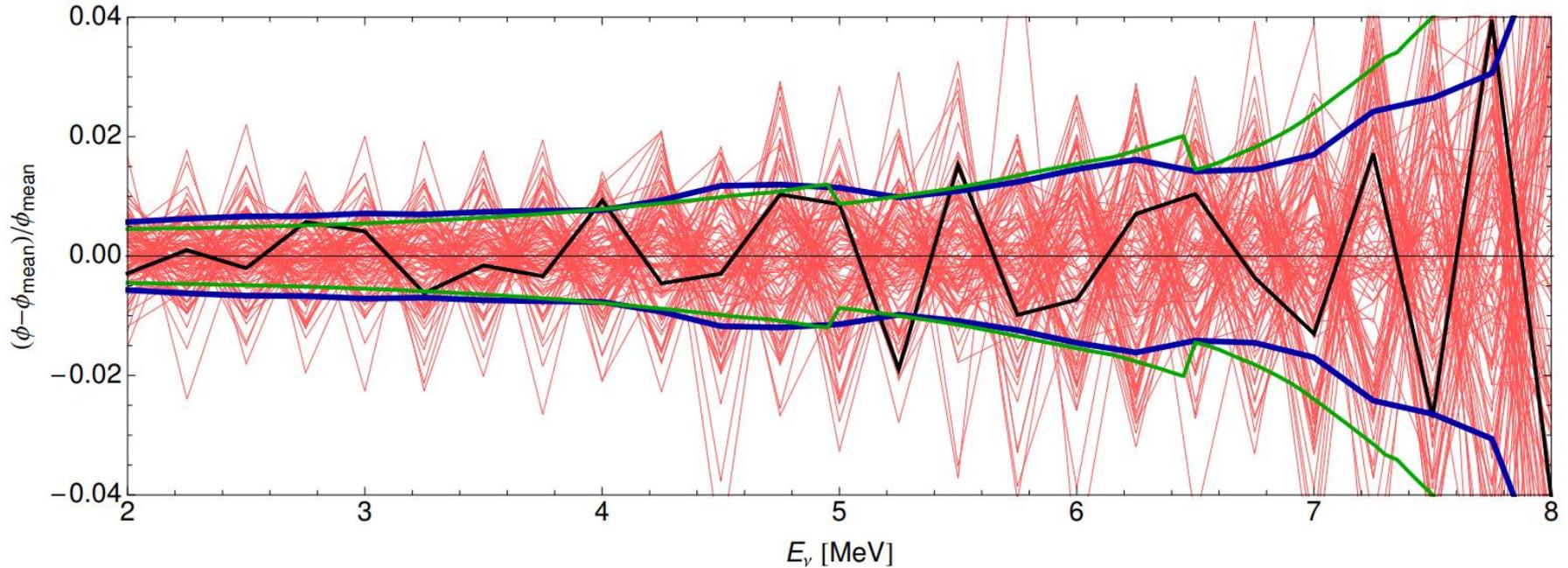
Некорректность задачи конверсии



Некорректность задачи конверсии



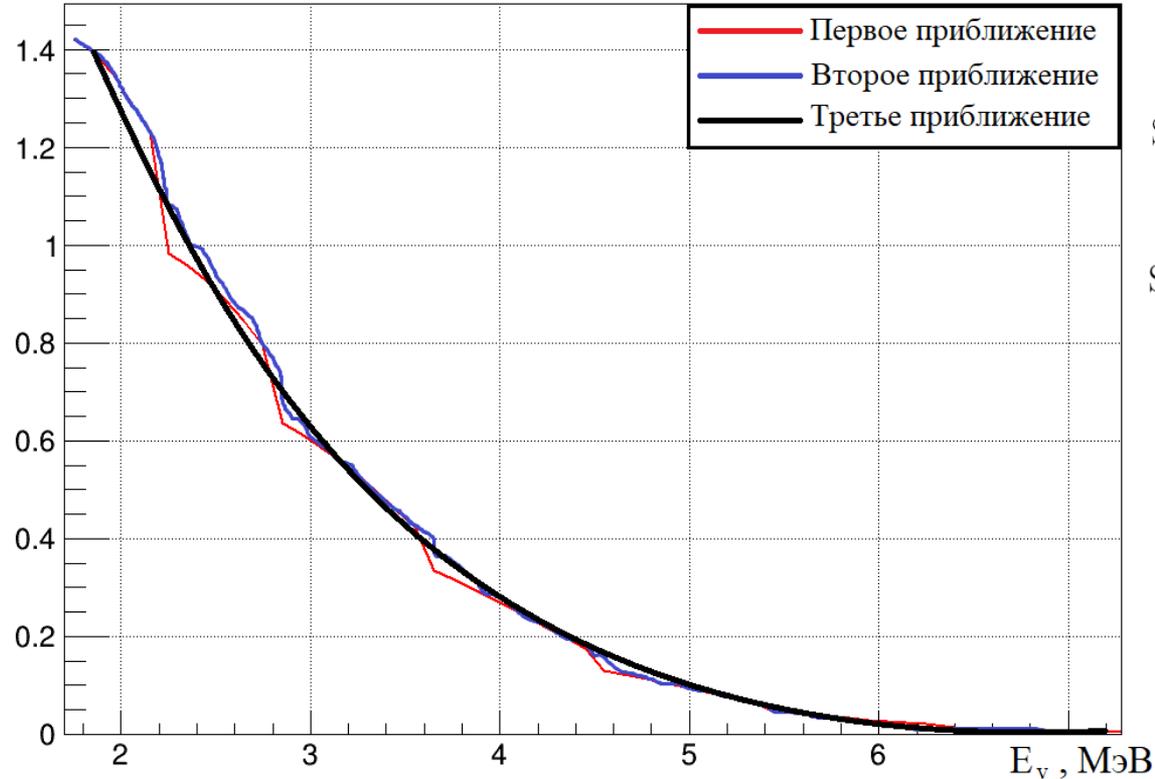
Устойчивость конверсии



Huber P. «Determination of antineutrino spectra from nuclear reactors» // Phys. Rev. — 2011. — авг. — т. 84, №2 — arXiv:1106.0687 [hep-ph]

Вторичная конверсия и сглаживание

$Sp_\nu(E_\nu)$, МэВ⁻¹ распад⁻¹

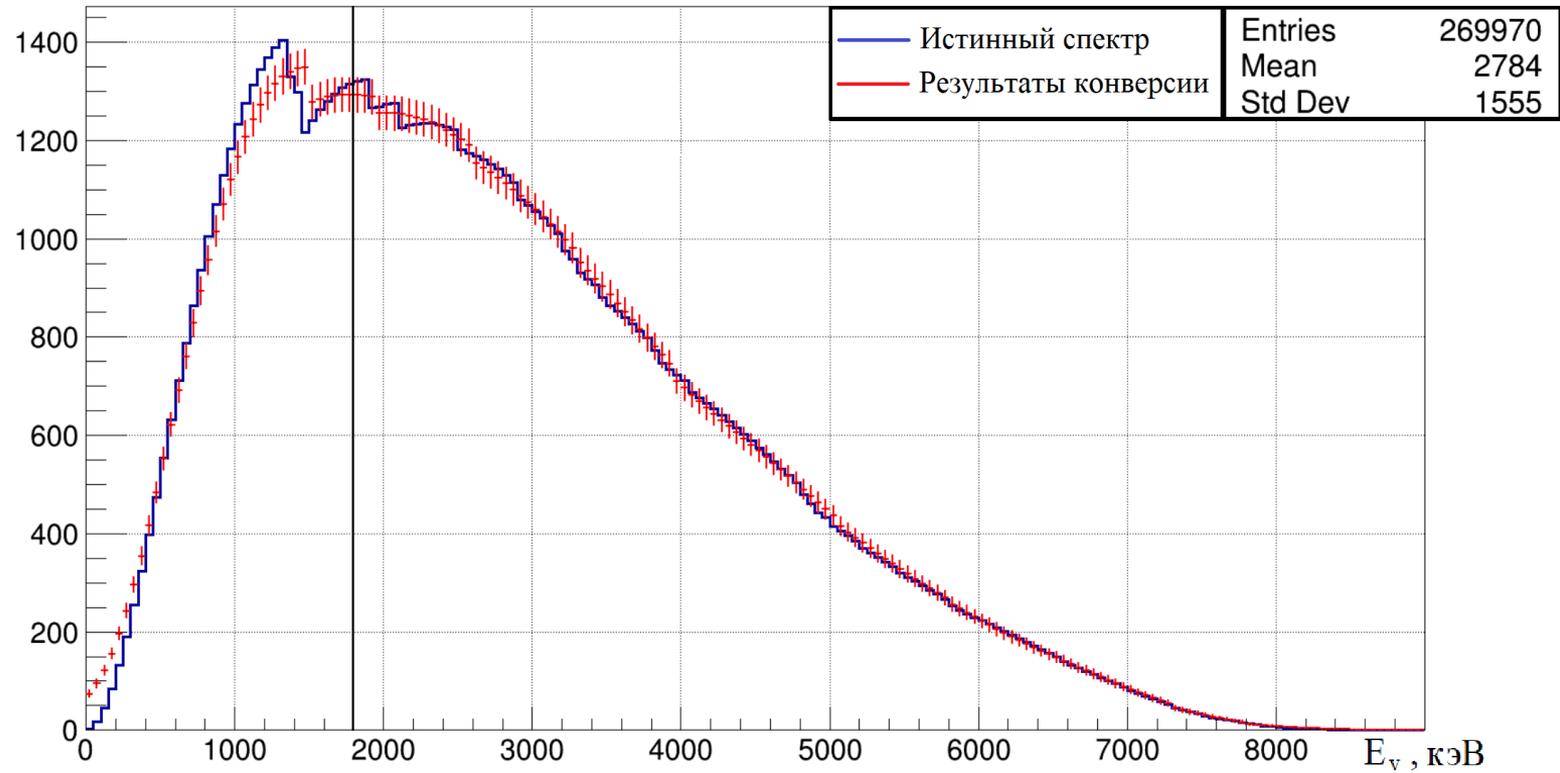


$$Sp_\nu^{(2)}(E_\nu) = Sp_\nu(E_\nu) + \delta Sp_\nu(E_\nu)$$

$$Sp_\nu^{(3)}(E_\nu) = \int_{E_{min}}^{E_{max}} Sp_\nu^{(2)}(\varepsilon_\nu) \eta(\varepsilon_\nu, E_\nu) d\varepsilon_\nu$$

Результаты: Монте-Карло

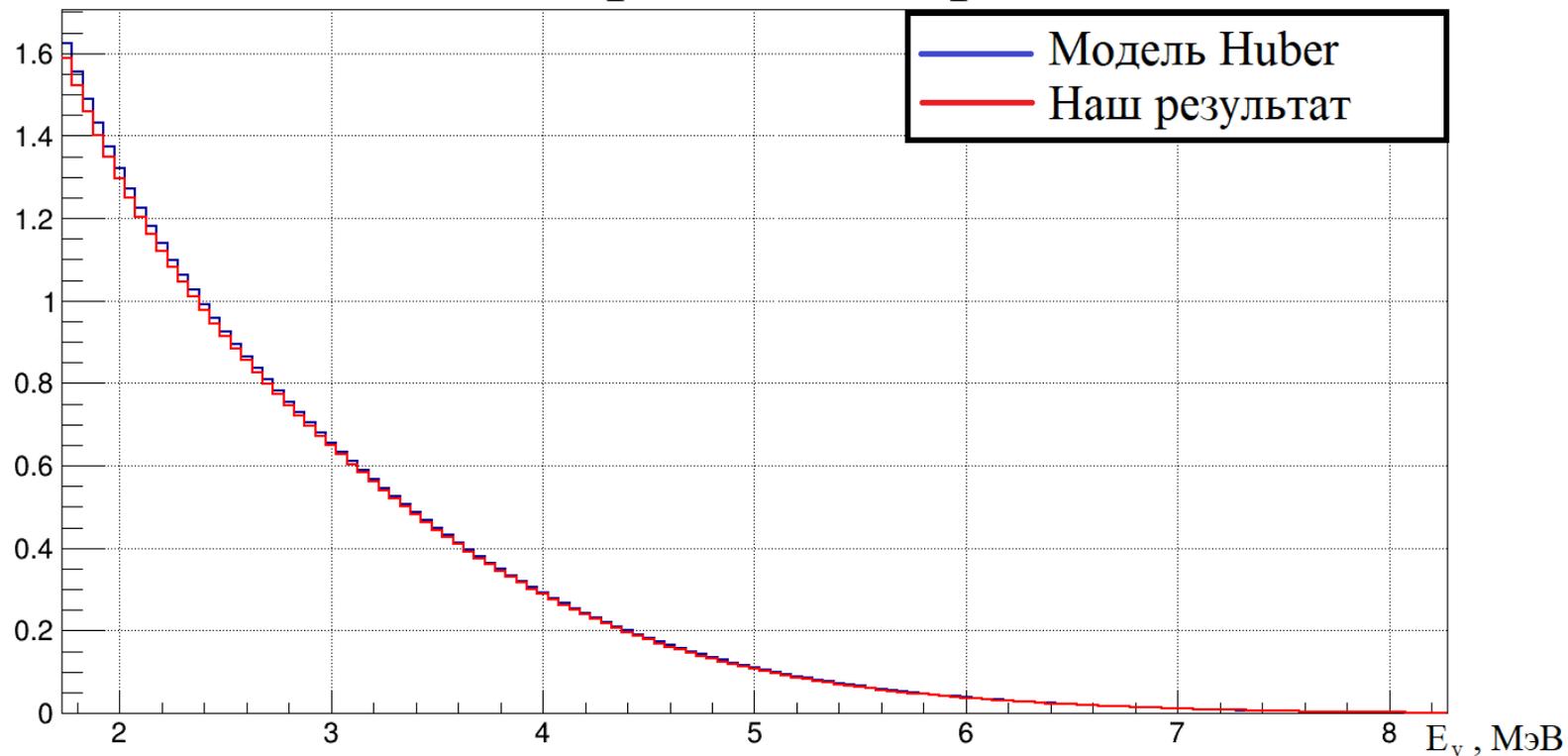
Число событий



Результаты: экспериментальные данные

$S_{p_\nu}(E_\nu)$, МэВ⁻¹ распад⁻¹

Спектр антинейтрино ²³⁵U



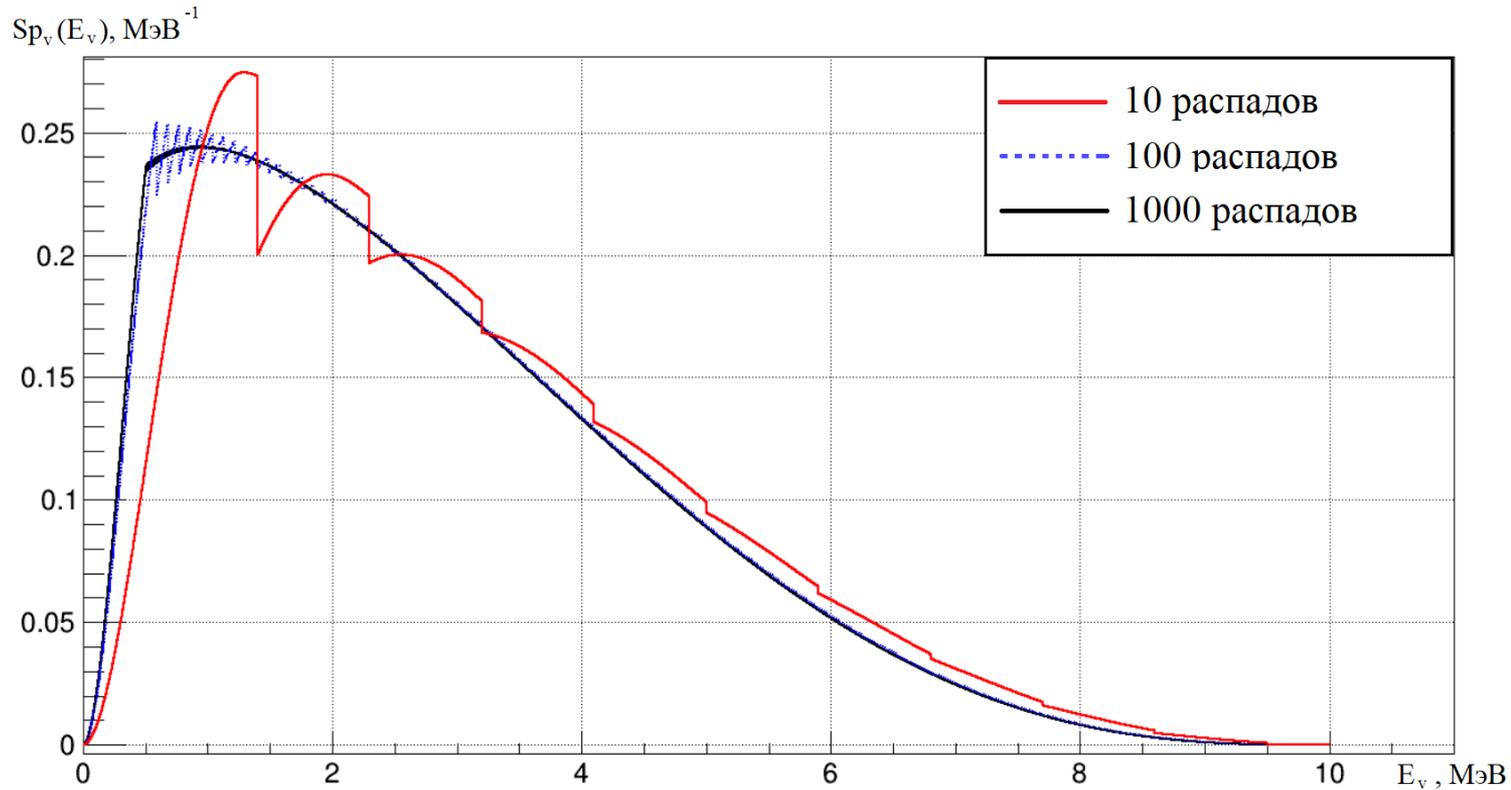
Заключение

- В ходе работы была построена математическая модель для конверсии кумулятивных бета-спектров в спектры антинейтрино и создано программное обеспечение для реализации данной модели;
- Была воспроизведена конверсия реальных экспериментальных бета-спектров, проведено сравнение полученных результатов с уже существующими моделями;

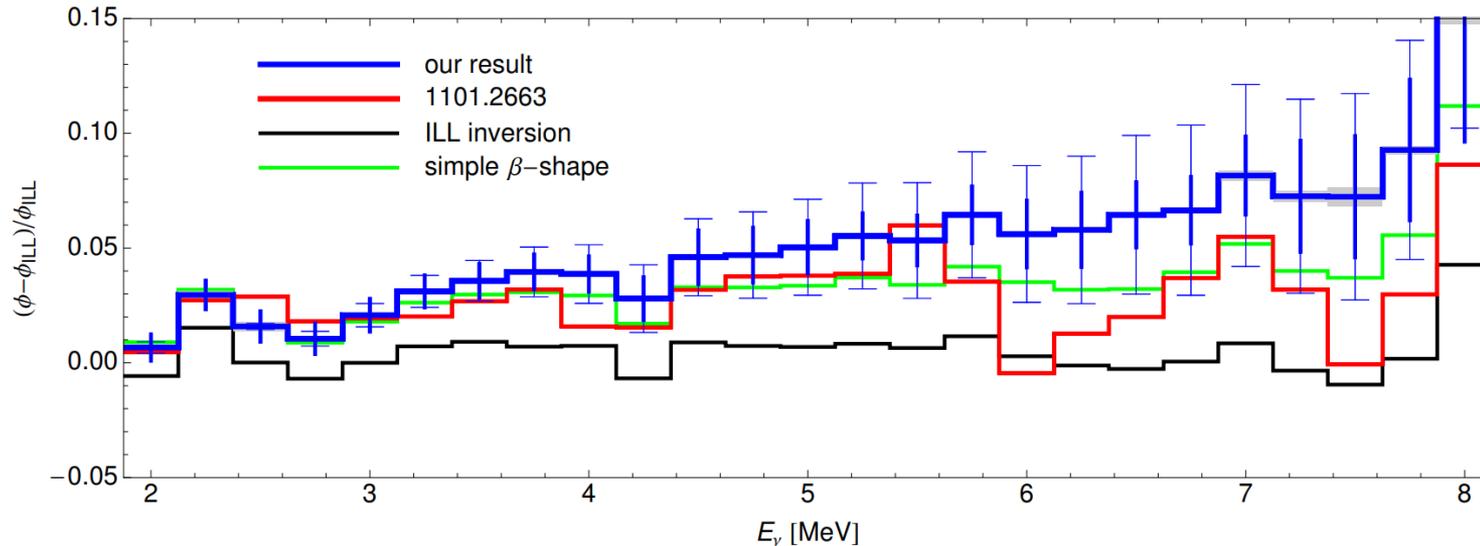
Дальнейшая работа будет направлена на устранение недостатков созданной модели и оптимизацию работы программы.

Спасибо за внимание!

Устойчивость конверсии: сходимость



Модель Huber



$$\phi_\nu(E_\nu) = \exp\left(\sum_i^6 \alpha_i E_\nu^{i-1}\right)$$

| Isotope | χ_{\min}^2 | α_1 | α_2 | α_3 | α_4 | α_5 | α_6 |
|-------------------|-----------------|------------|------------|------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| ^{235}U | 49.3 | 4.367 | -4.577 | 2.100 | -5.294×10^{-1} | 6.186×10^{-2} | -2.777×10^{-3} |
| ^{239}Pu | 20.8 | 4.757 | -5.392 | 2.563 | -6.596×10^{-1} | 7.820×10^{-2} | -3.536×10^{-3} |
| ^{241}Pu | 15. | 2.990 | -2.882 | 1.278 | -3.343×10^{-1} | 3.905×10^{-2} | -1.754×10^{-3} |

Huber P. «Determination of antineutrino spectra from nuclear reactors» // Phys. Rev. — 2011. — авг. — т. 84, №2— arXiv:1106.0687 [hep-ph]