

Исследование влияния изменения концентрации МОКС-топлива на спектральные характеристики антинейтрино

Выполнила В.А Вакуленко

Науч. руководитель Е. А. Литвинович

Москва, 2026

Актуальность

- ❖ Детальный расчет потока антинейтрино для быстрых реакторов с топливной загрузкой, включающей различные концентрации МОКС топлива, ранее не проводился.
- ❖ Возрастающий интерес к методам неинвазивного мониторинга на основе регистрации реакторных антинейтрино, а также недостаток данных по данной теме подчеркивают необходимость дальнейших исследований

Задачи

- ❖ **Рассчитать поток и энергетический спектр антинейтрино от реактора на быстрых нейтронах БН-800 с различными концентрациями МОКС топлива**
- ❖ **Сравнить спектральные характеристики реактора БН-800 с различной загрузкой МОКС-топлива**

ВВЭР-1000

- ❖ **Тип нейтронов:** тепловые
- ❖ **Замедлитель:** вода
- ❖ **Теплоноситель:** вода
- ❖ **Материал топлива:** Урановое топливо с обогащением 3 - 5 %

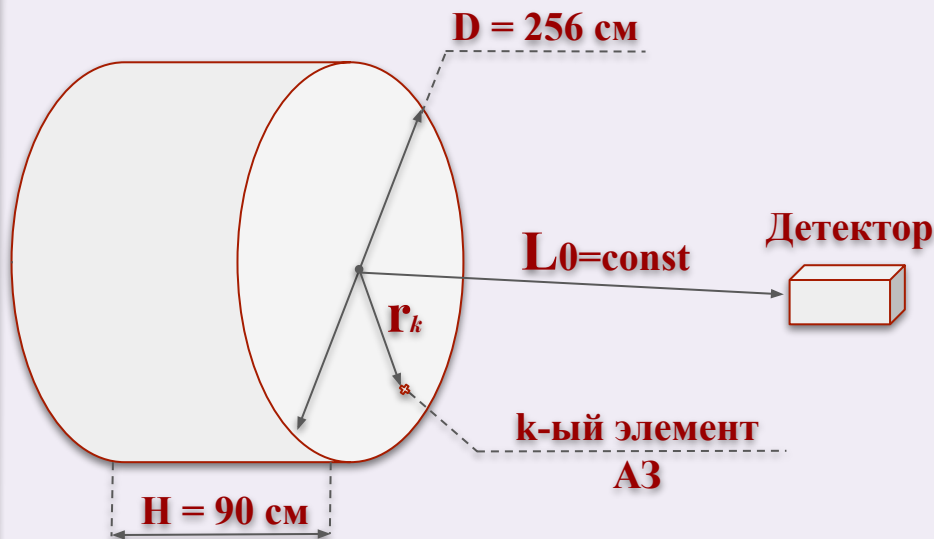
БН-800

- ❖ **Тип нейтронов:** быстрые
- ❖ **Замедлитель:** нет
- ❖ **Теплоноситель:** жидкий натрий
- ❖ **Материал топлива:** Смесь оксидного топлива (МОКС*) ~16 %, остальные 84% это урановое топливо с обогащением 18,5-24 %

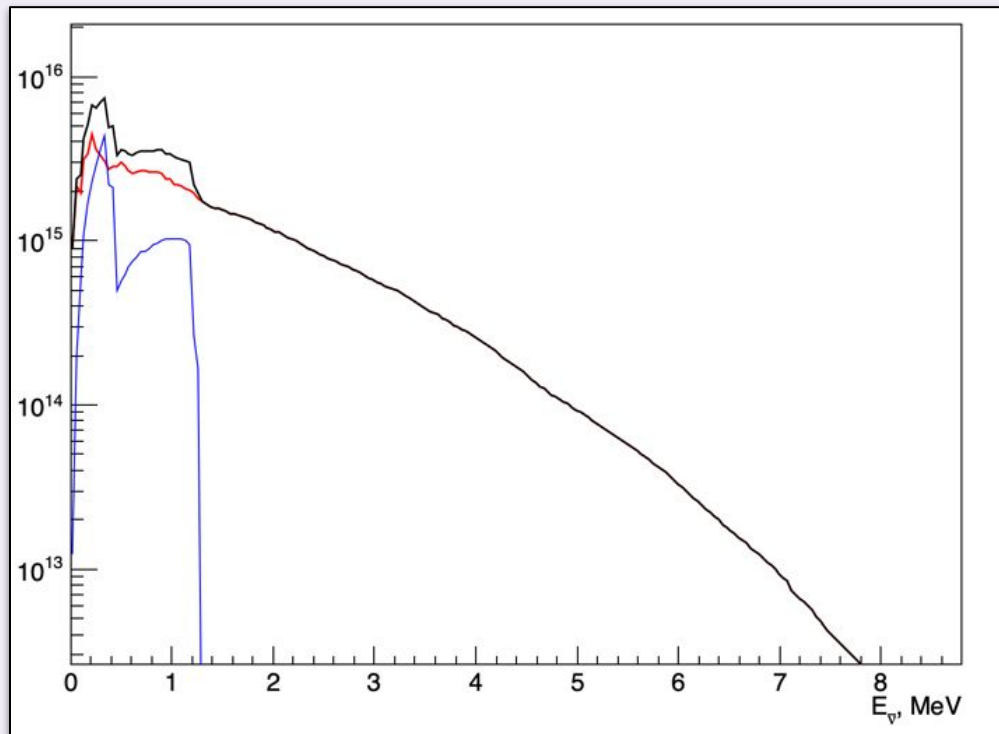
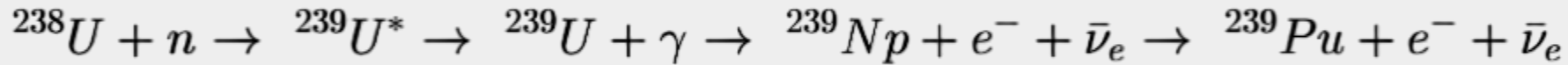
* (Mixed Oxide Fuel, смешанное оксидное топливо) включает смесь оксидов урана и плутония

Методика расчета потока антинейтрино от реактора БН

$$\Phi(t, E_{\bar{\nu}_e}, \mathbf{L}_0) = \frac{1}{4\pi} \cdot \sum_k \frac{N_f(t, \mathbf{r}_k)}{(\mathbf{L}_0 - \mathbf{r}_k)^2} \cdot S_f(t, \mathbf{r}_k, E_{\bar{\nu}_e})$$

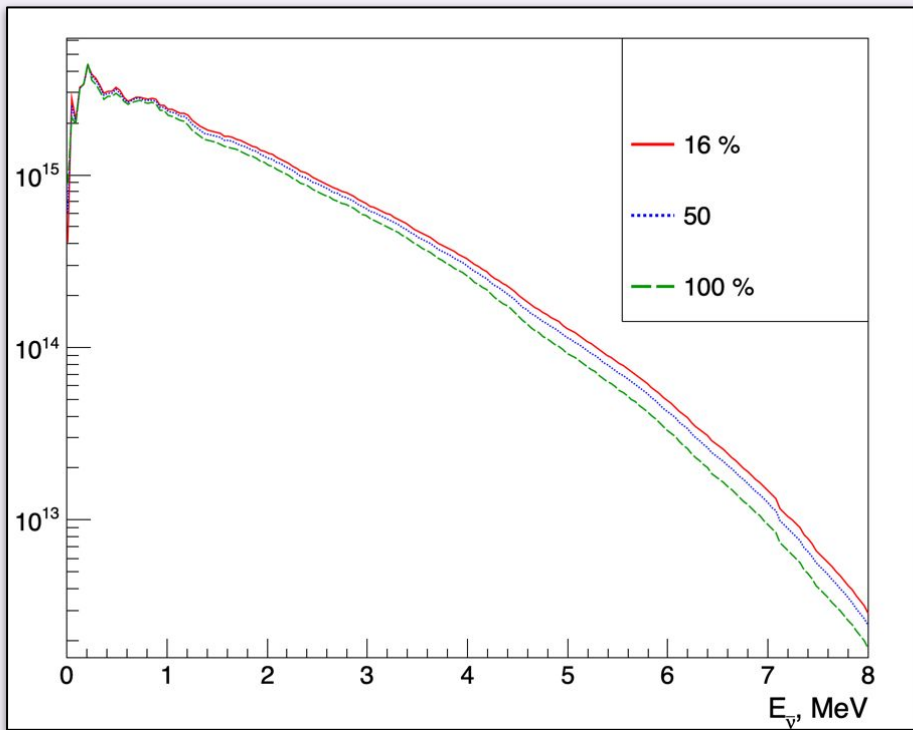


- $N_f(t, \vec{r}_k)$ — число делений в ед. времени;
- $E_f(t, \vec{r}_k) = \sum_i \alpha_i(t, \vec{r}_k) e_i$ — Тепловая энергия одного деления;
- $P_{th}(t, \vec{r}_k) = N_f(t, \vec{r}_k) \cdot E_f(t, \vec{r}_k)$ — Тепловая мощность;
- $S_f(t, \vec{r}_k, E_{\bar{\nu}_e}) = \sum_i \alpha_i(t, \vec{r}_k) S_i(E)$ — Спектр антинейтрино;
- $S_i(E)$ и e_i — спектры антинейтрино и энергии деления i -го нуклида;
- $\alpha_i(t, \vec{r}_k)$ — доля делений i -го нуклида, причём $\sum_i \alpha_i = 1$;

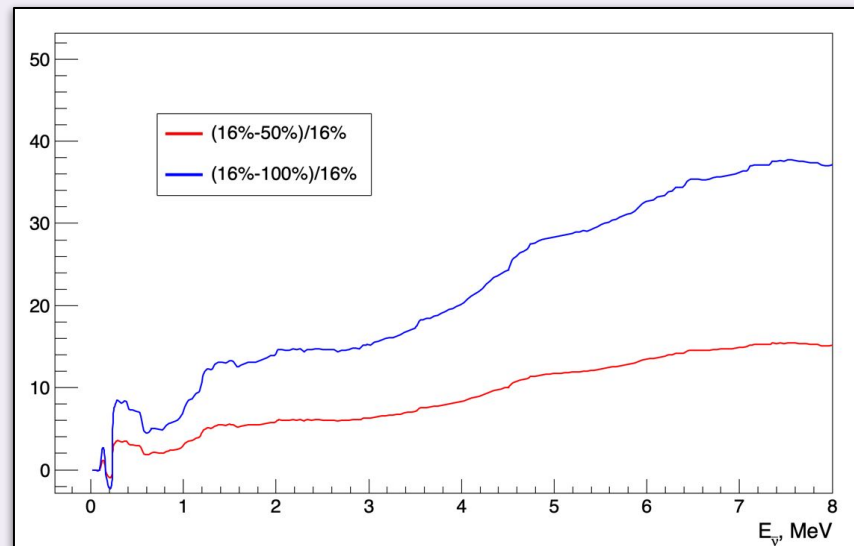


Спектры $\bar{\nu}_e$ для середины кампании реактора БН-800, обусловленные реакциями деления (—), (n, γ) -реакциями на ^{238}U (—) и их сумма (—) с загрузкой 16 % МОКС

Важной особенностью быстрых реакторов является увеличение интенсивности захватов нейтронов на U^{238} с образованием U^{239}



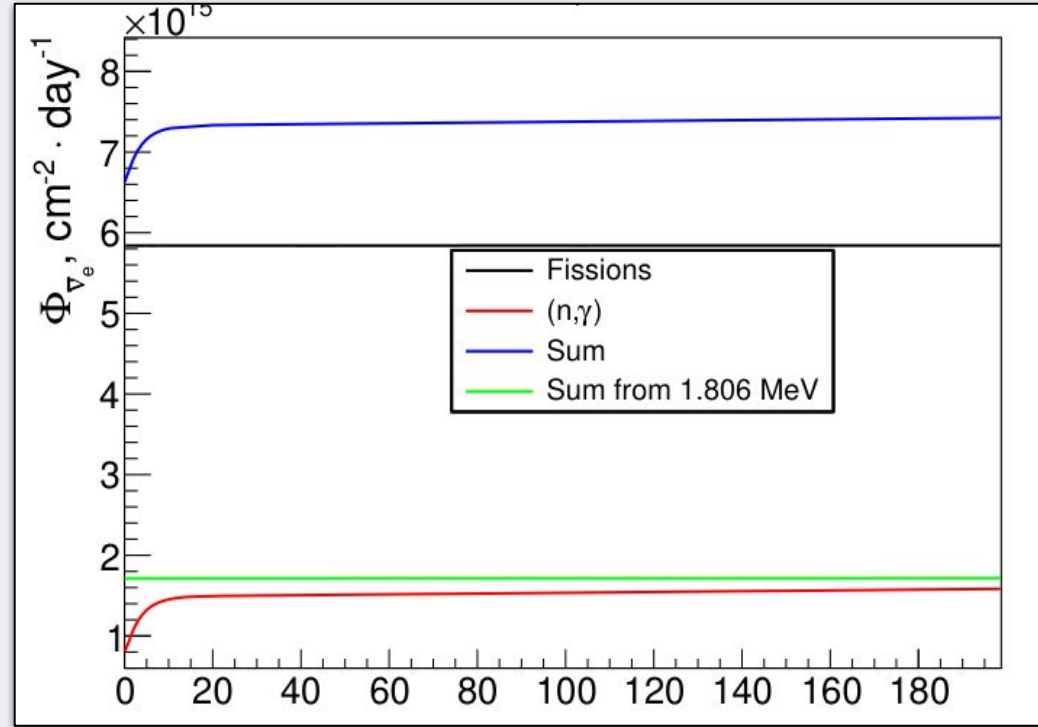
Спектры $\bar{\nu}_e$ для середины кампании реактора БН-800, обусловленные реакциями деления при 16 % МОКС (—), при 50 % МОКС (---), при 100 % МОКС (---)



Относительная разность спектров антинейтрино, обусловленных реакциями деления для середины кампании

Число антинейтрино на одно деление в единицу времени уменьшается с увеличением доли МОКС топлива, что связано с перераспределением долей изотопов U235 и Pu239

Поток ν_e от реактора БН-800 на протяжении топливной кампании для реакций деления (—), (n, γ) -реакций на ^{238}U (—), суммарного потока (—), а также суммарного потока, превышающего порог реакции обратного β -распада на протоне (—) с 100 % МОКС топливом



При увеличении доли смешанного оксидного топлива суммарный поток снижается на 10 % (синяя кривая).

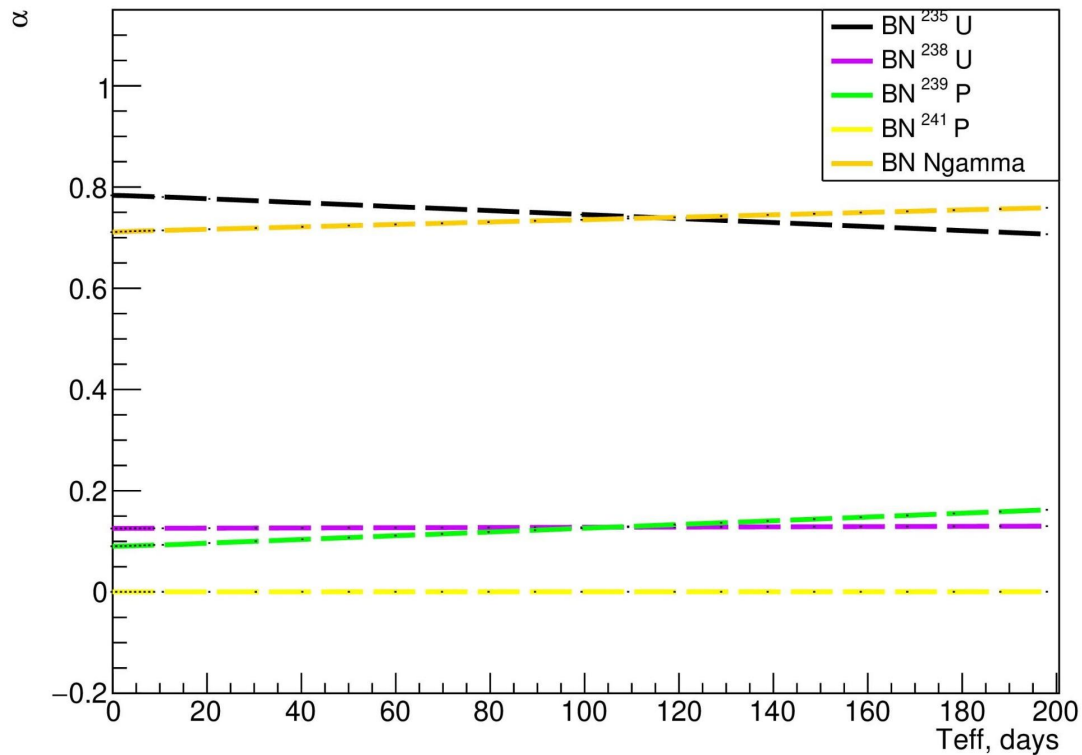
Заключение

В течении семестра рассчитаны спектры и потоки антинейтрино для каждой из конфигураций: 16% , 50% , 100% МОКС топлива от общего объема. Получены следующие **результаты**:

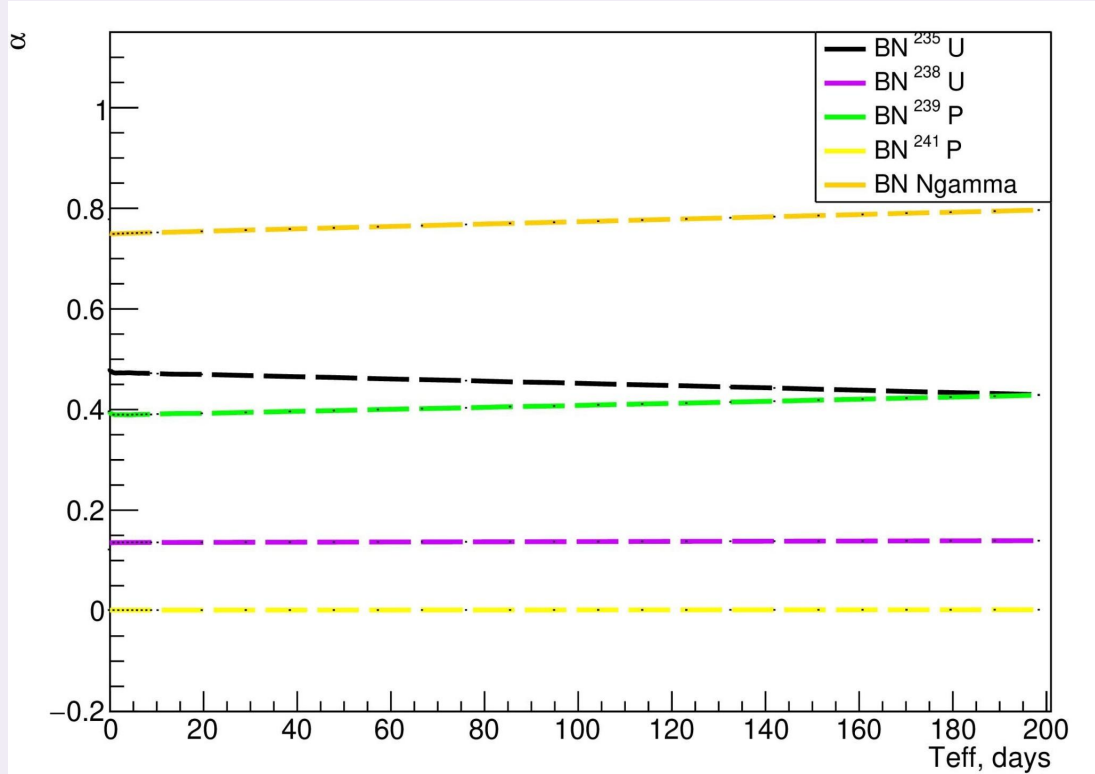
- Число антинейтрино на одно деление в единицу времени уменьшается с увеличением доли МОКС топлива, что связано с перераспределением долей изотопов U235 и Pu239
- При увеличении доли смешанного оксидного топлива суммарный поток снижается на 10 %, что также связано с перераспределением долей Pu239 и U235.

Таким образом, впервые был произведен расчет спектральных характеристик антинейтрино для загрузок с различным вкладом МОКС топлива. В дальнейшем планируется более детальный анализ, ориентированный на применимость реакторов типа БН с МОКС топливом в контексте метода неинвазивного мониторинга.

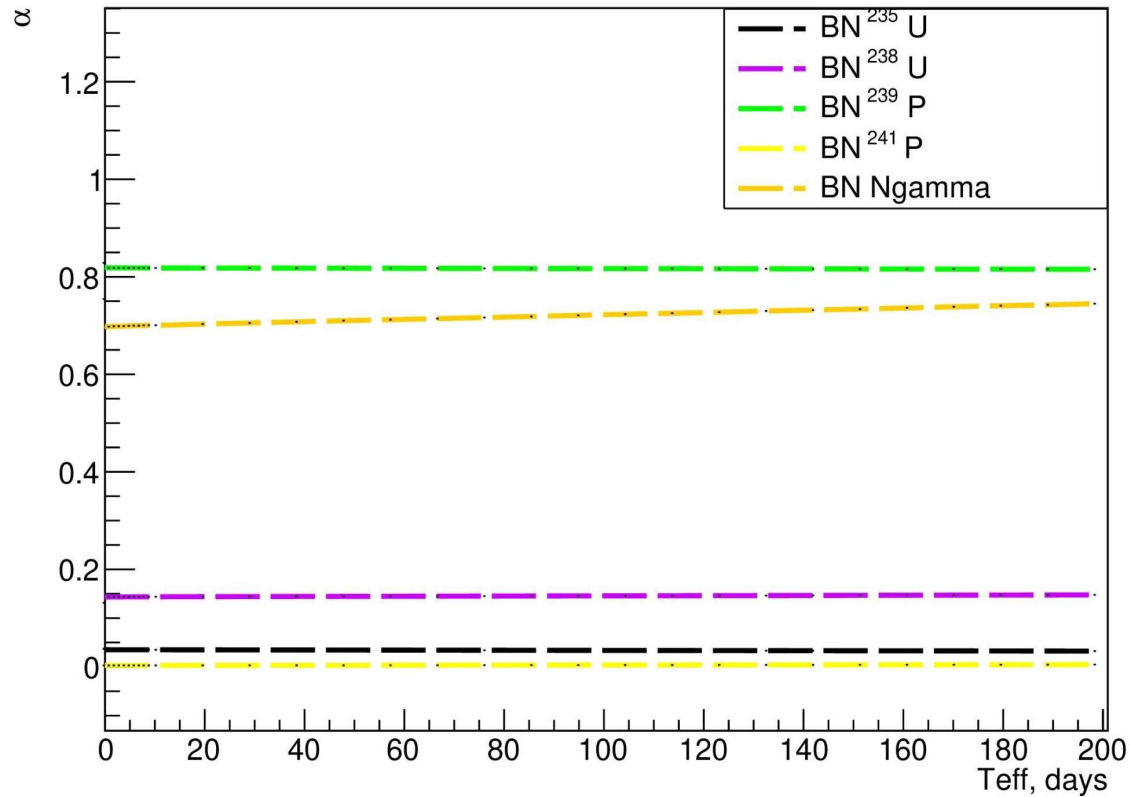
Спасибо за внимание!



Зависимость долей деления $\alpha(t)$ в БН-800: ^{235}U (—), ^{238}U (—), ^{239}Pu (—), ^{241}Pu (—) и (n, γ) (—) с 16 % МОКС топлива

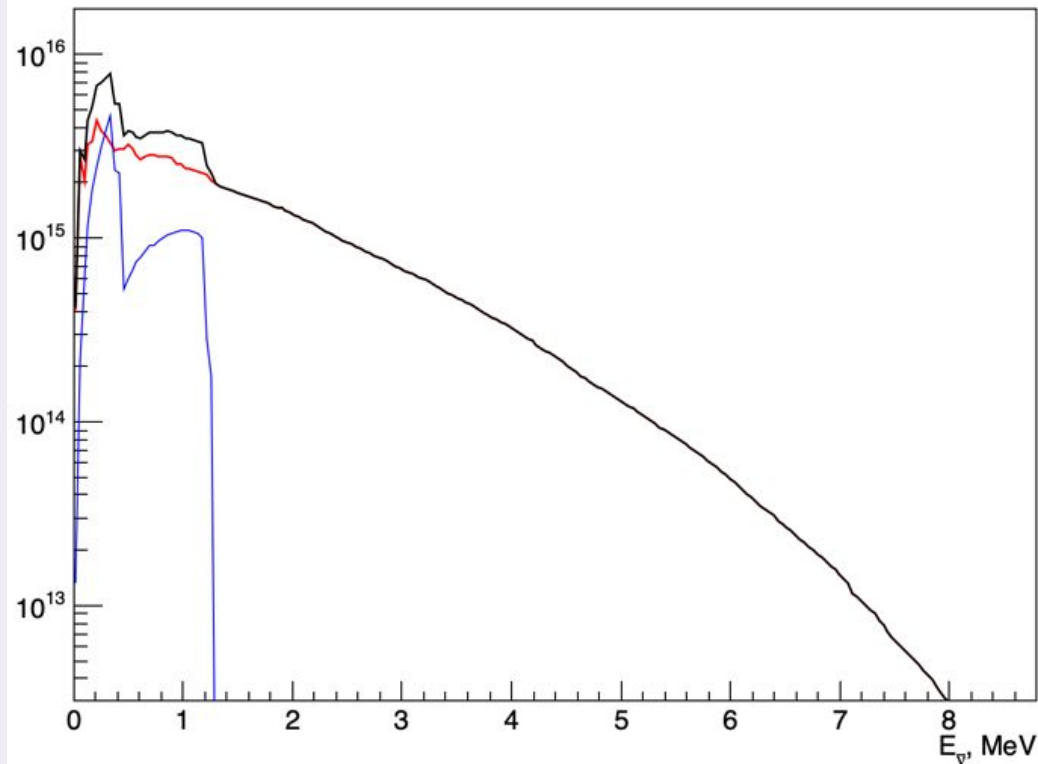


Зависимость долей деления $\alpha(t)$ в
 БН-800: ^{235}U (—), ^{238}U (---), ^{239}Pu
 (— · —), ^{241}Pu (— — —) и (n, γ) (· · ·) с 50 %
 МОКС топлива

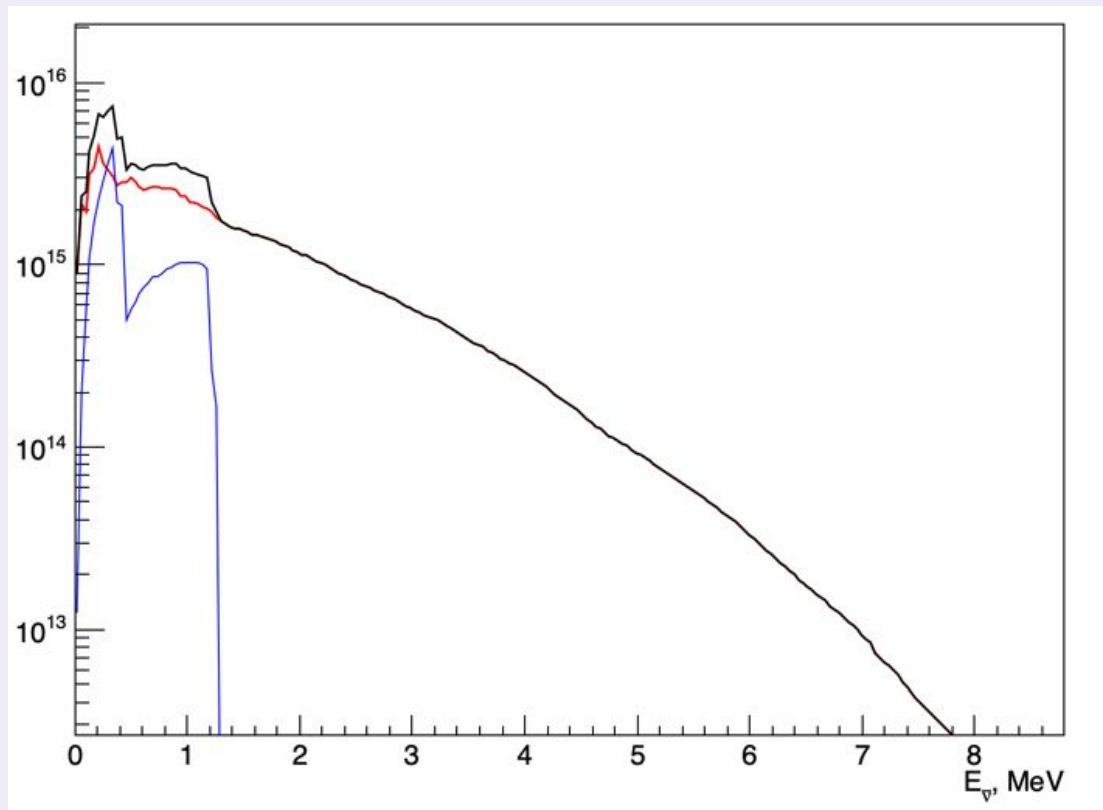


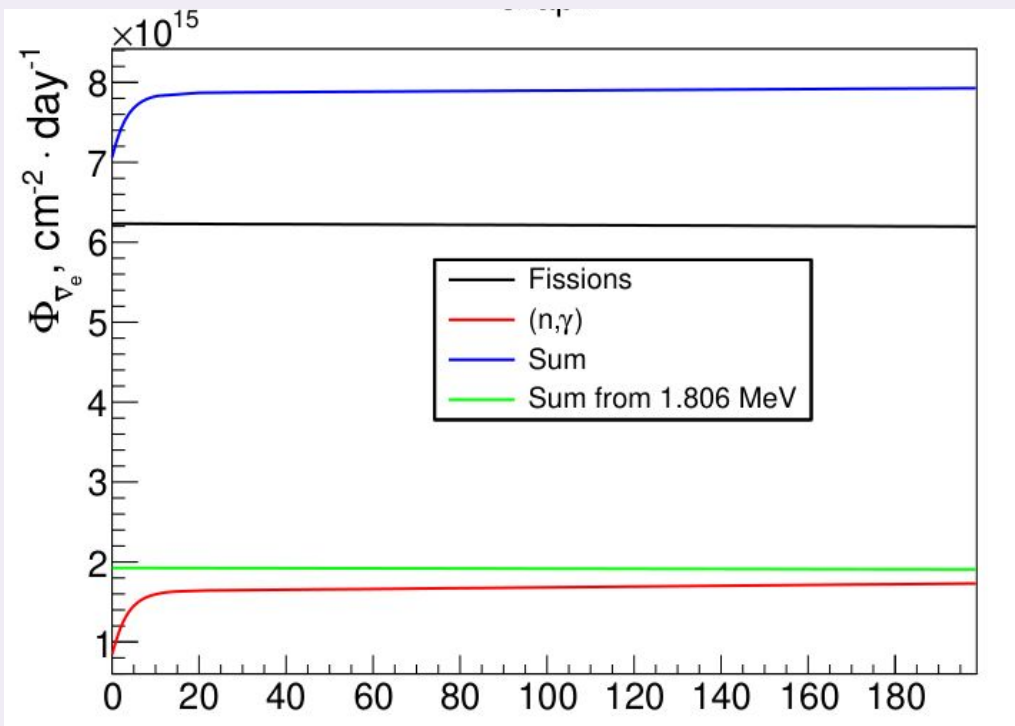
Зависимость долей деления $\alpha(t)$ в БН-800: ^{235}U (—), ^{238}U (—), ^{239}Pu (—), ^{241}Pu (—) и (n, γ) (—) с 100 % МОКС топлива

Спектры ν_e для середины кампании реактора БН-800, обусловленные реакциями деления (—), (n, γ) -реакциями на ^{238}U (—) и их сумма (—) с загрузкой 50 % МОКС

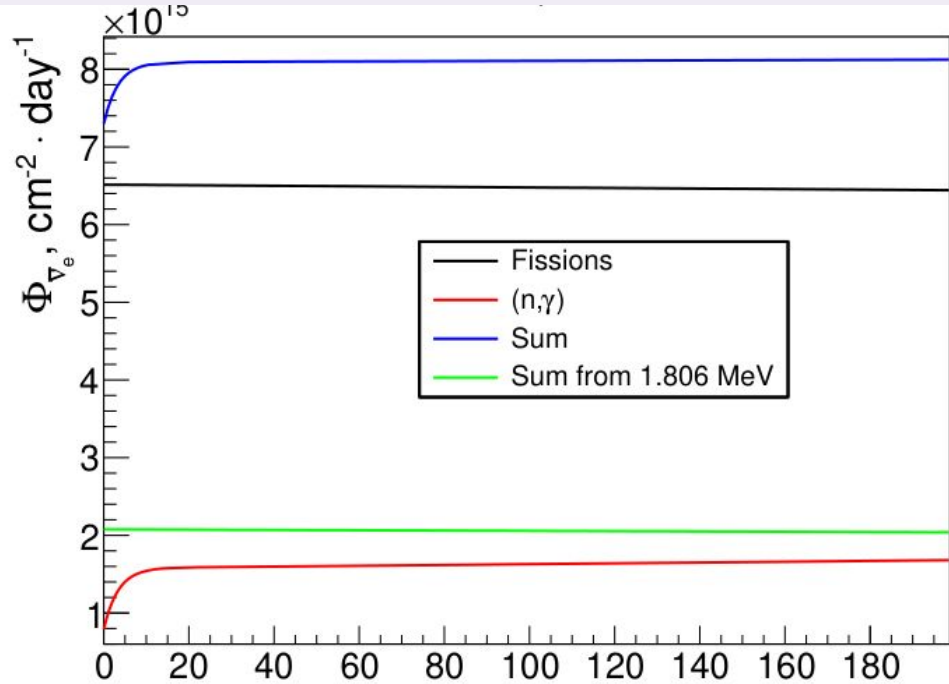


Спектры ν_e для середины кампании реактора БН-800, обусловленные реакциями деления (—), (n, γ) -реакциями на ^{238}U (—) и их сумма (—) с загрузкой 100 % МОКС





Поток ν_e от реактора БН-800 на протяжении топливной кампании для реакций деления (—), (n, γ) -реакций на ^{238}U (—), суммарного потока (—), а также суммарного потока, превышающего порог реакции обратного β -распада на протоне (—) с 50 % МОКС топливом



Поток ν_e от реактора БН-800 на протяжении топливной кампании для реакций деления (—), (n, γ) -реакций на ^{238}U (—), суммарного потока (—), а также суммарного потока, превышающего порог реакции обратного β -распада на протоне (—) с 16 % МОКС топливом