

Анализ скорости счёта и спектральной формы сигнала детектора iDREAM

Жутиков Иван, группа А23-121

Научный руководитель: к.ф.-м.н., Литвинович Е.А.

Мотивация и цель

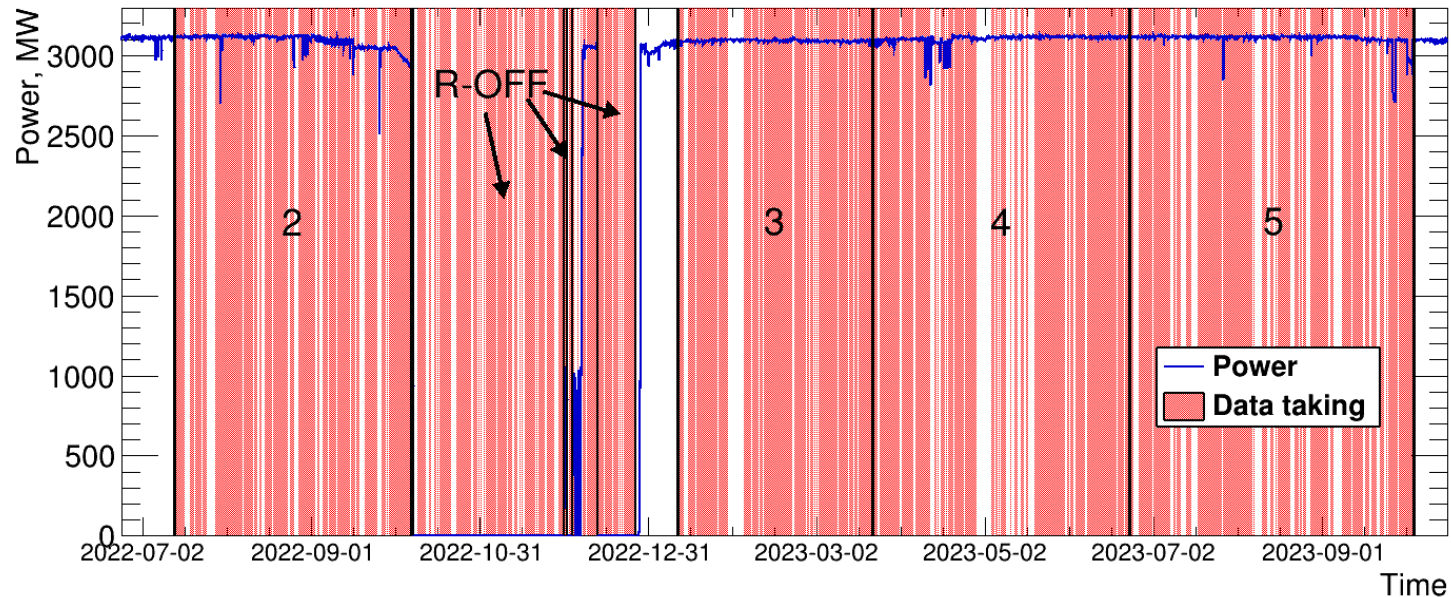
Мотивация:

- Детектор iDREAM обладает достаточной статистикой для анализа не только полной скорости счёта, но и формы энергетического спектра антинейтрино. Это позволяет проверить наличие спектрального отклонения в области 5 МэВ и изучить его возможную эволюцию в ходе кампании.
- Изменение скорости счёта в разных энергетических диапазонах связано с изменением изотопного состава топлива. Поэтому такие данные могут быть использованы для оценки эффективных выходов ОБР для ^{235}U и ^{239}Pu , а также для прикладной оценки накопления плутония и текущих долей деления изотопов.

Цель работы:

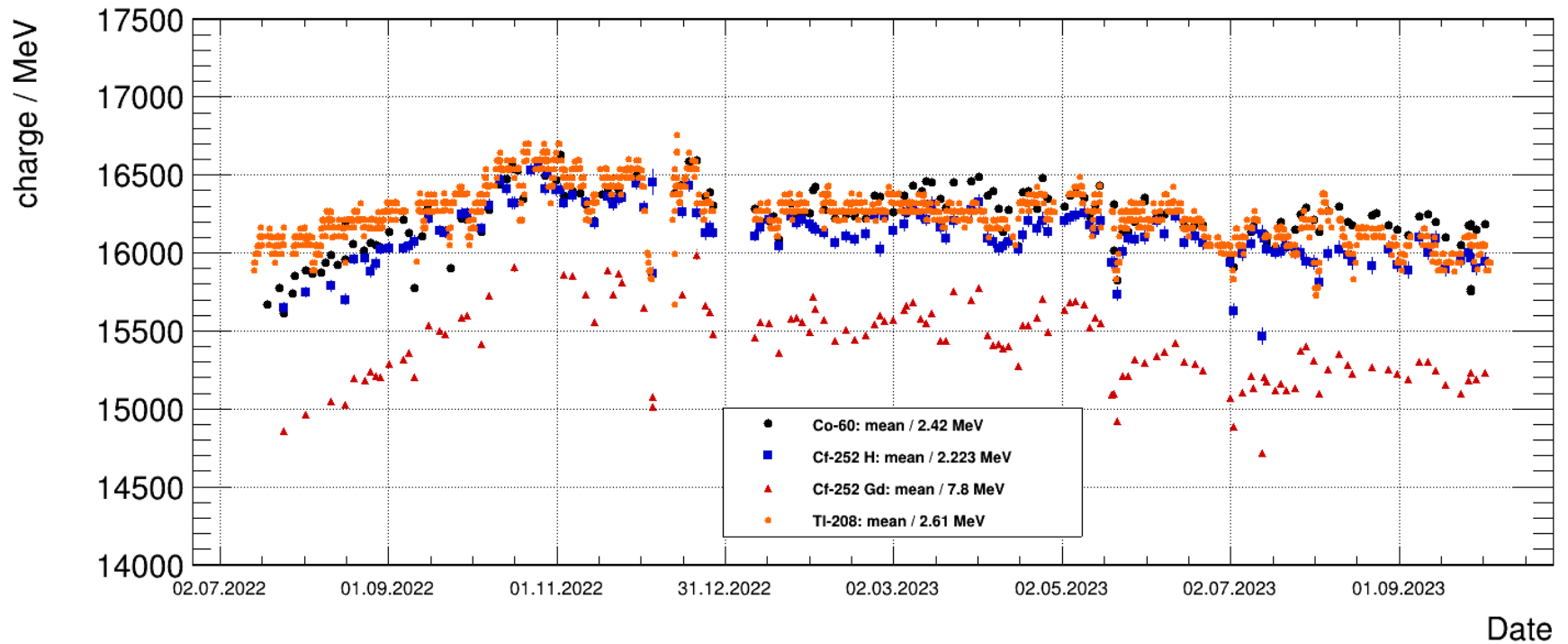
- проанализировать спектр и скорость счёта детектора iDREAM в ходе реакторной кампании и извлечь из этих данных информацию о спектральной форме сигнала, выходах ОБР и изменении изотопного состава топлива.

Данные для анализа



Для анализа использованы данные детектора iDREAM за периоды 2–5, данные конца 13-й и начала 14-й кампаний, с целью изучения изменений формы спектра позитронов и изменения скорости счёта детектора.

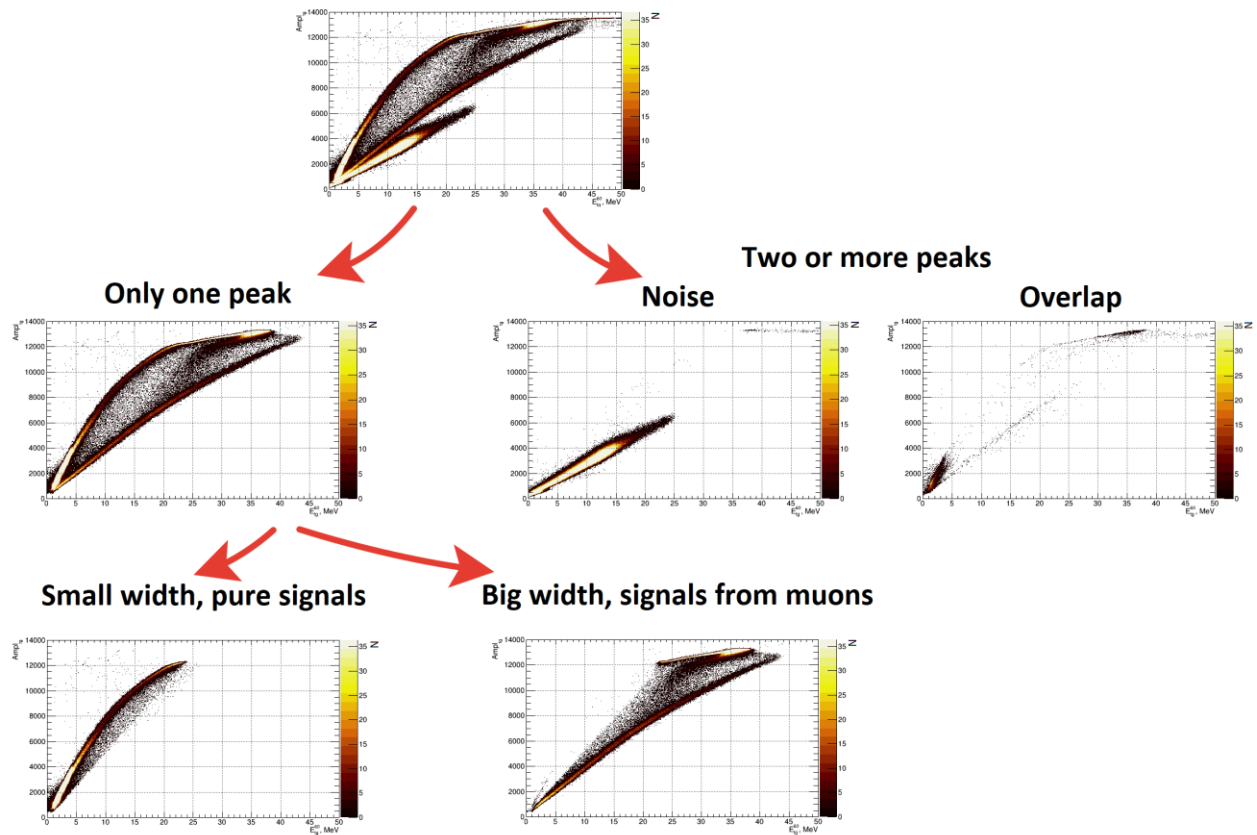
Калибровка детектора



Энергетическая шкала контролировалась по калибровочным источникам ^{60}Co , ^{252}Cf и пику ^{208}Tl . В пределах рассматриваемых периодов отклик детектора остаётся стабильным.

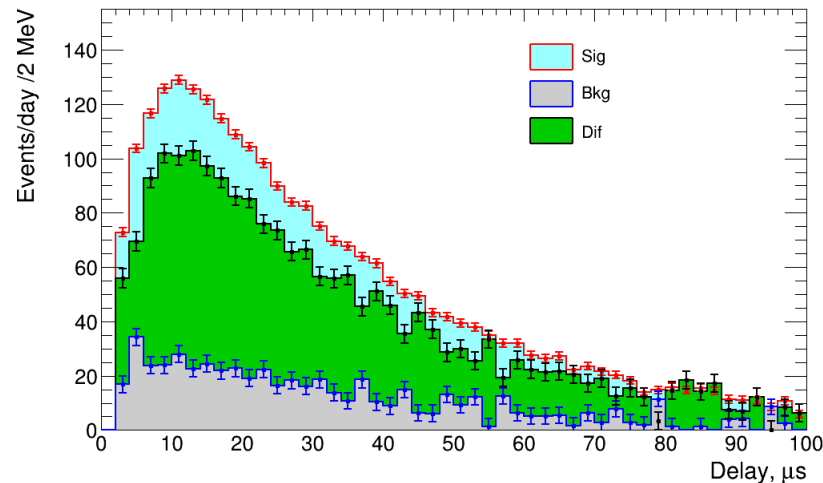
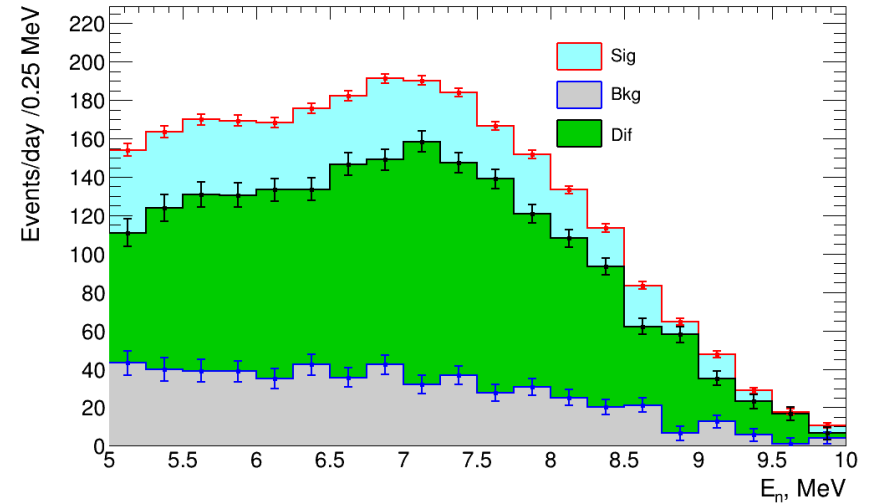
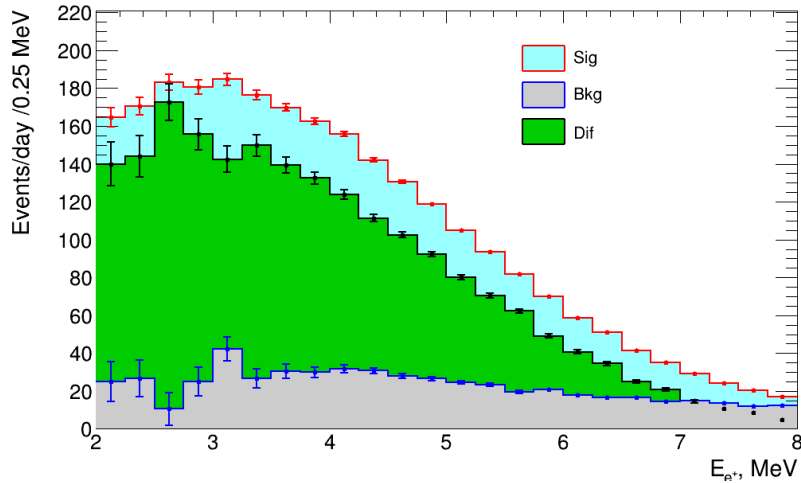
Критерии отбора событий

- Энергия позитрона в диапазоне 2–8 МэВ;
- Энергия нейтрона в диапазоне 5–10 МэВ;
- Время между позитроном и нейтроном от 2 до 100 мкс;
- Отсутствие других событий в течение 100 мкс до позитрона и после нейтрона.
- Отношение амплитуды сигнала к энергии должно быть больше чем $A/E > 450$

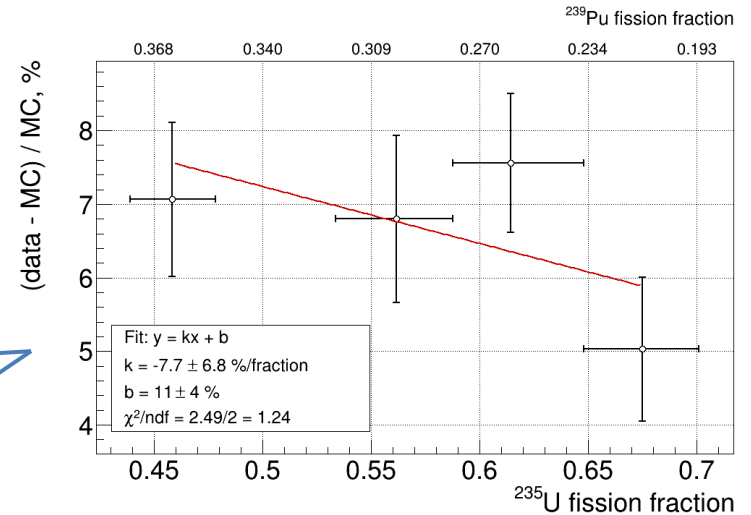
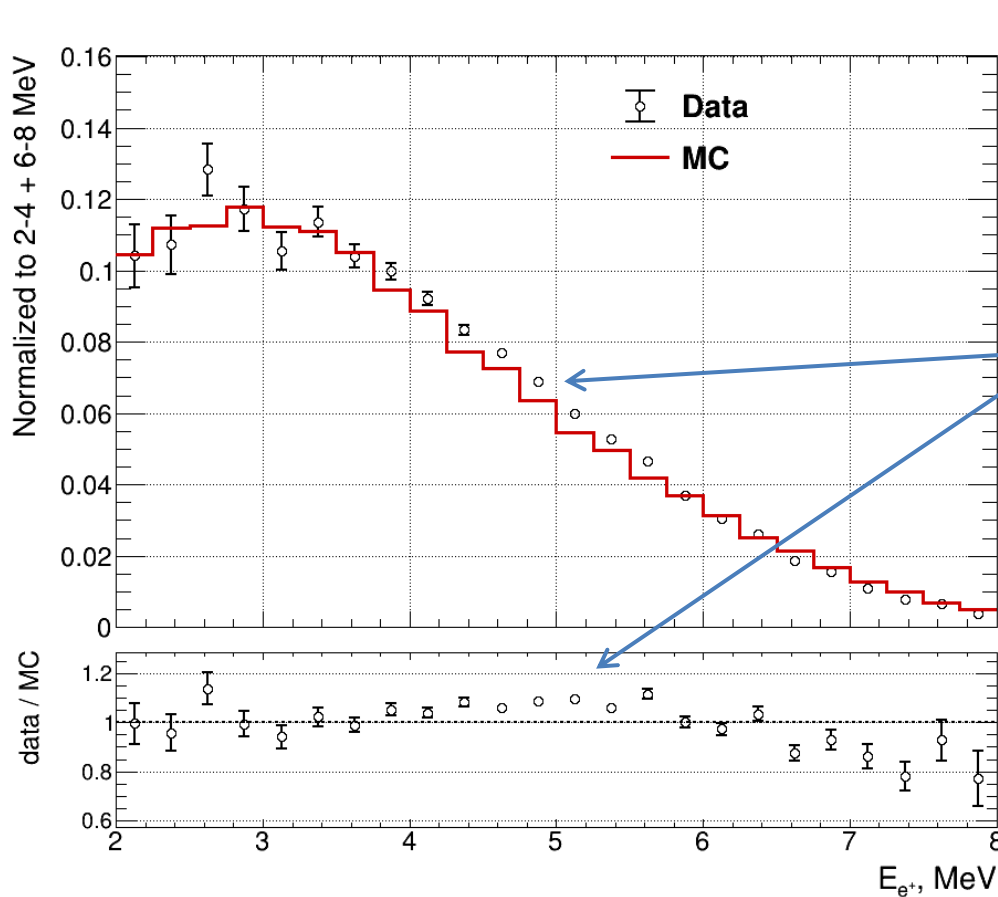


Результаты отбора событий

Соотношение коррелированный фон/сигнал $\approx 1/10$. Случайные совпадения учитывались по off-time окну.

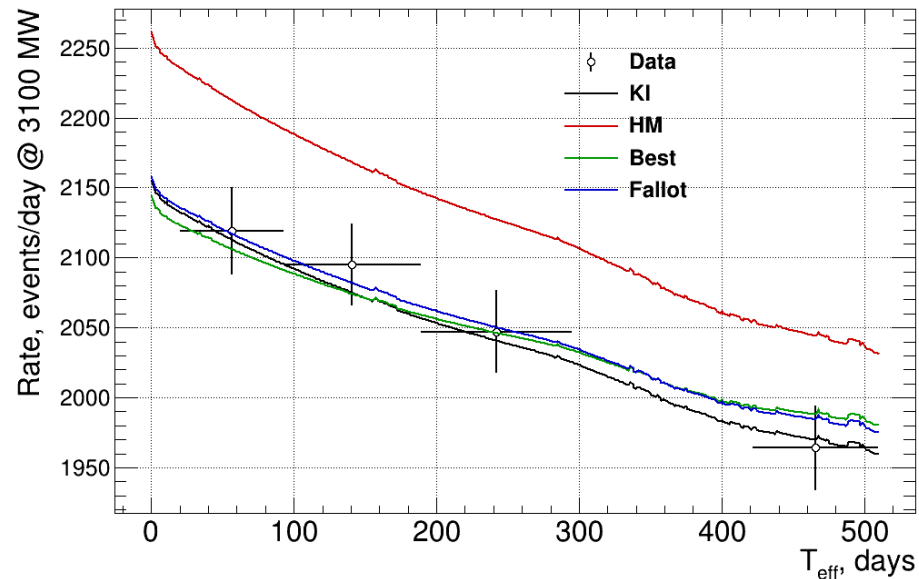
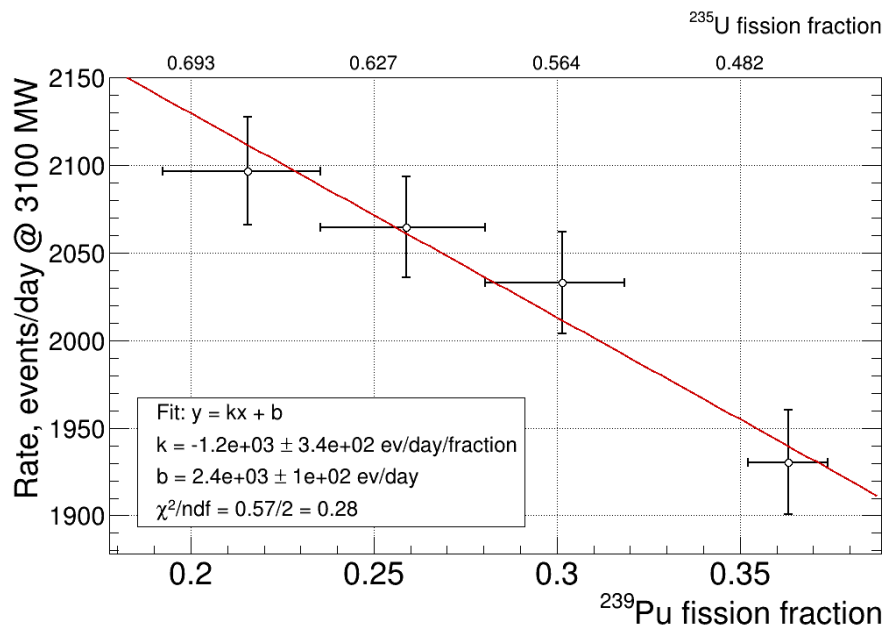


Спектральное отклонение в области 5 МэВ



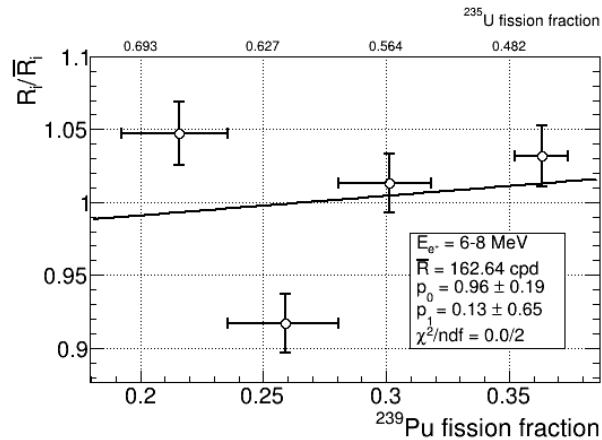
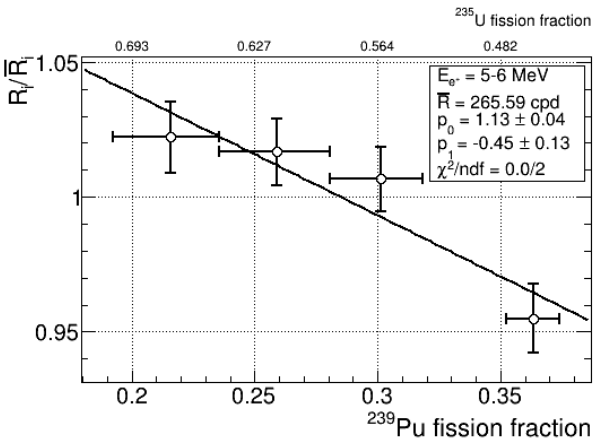
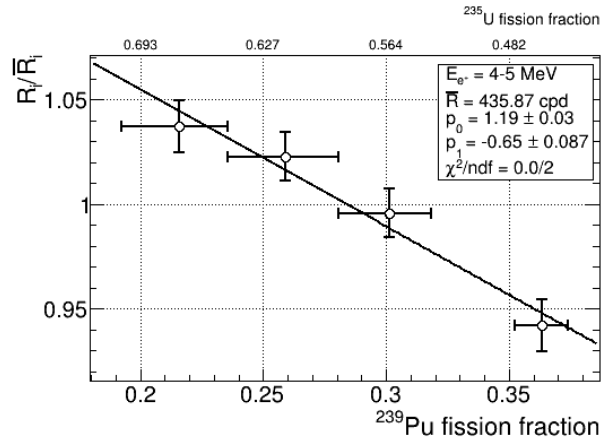
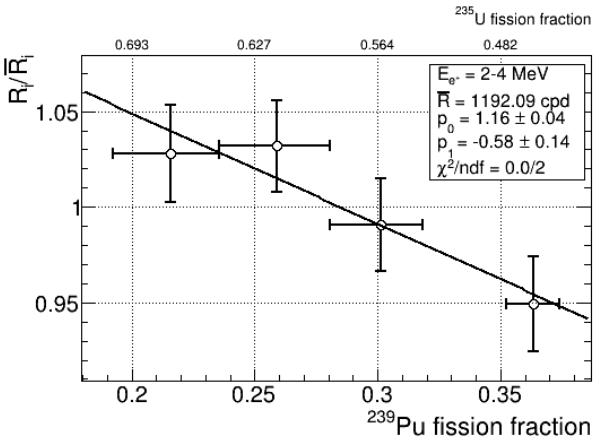
В области 4–6 МэВ наблюдается превышение данных над МК. Максимальное отклонение приходится примерно на 5 МэВ. Для отдельных периодов статистики недостаточно, чтобы уверенно проследить эволюцию эффекта во времени.

Изменение скорости счёта детектора

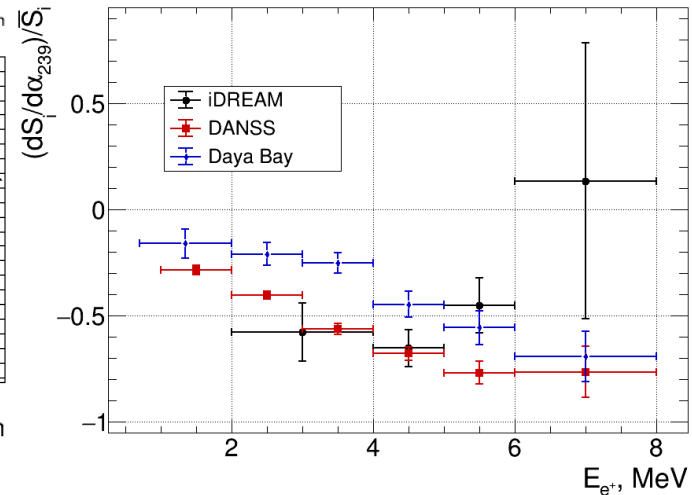


Зависимость скорости счёта с порога в 2 МэВ от долей деления и эффективного времени находится в согласии с предсказаниями реакторных моделей

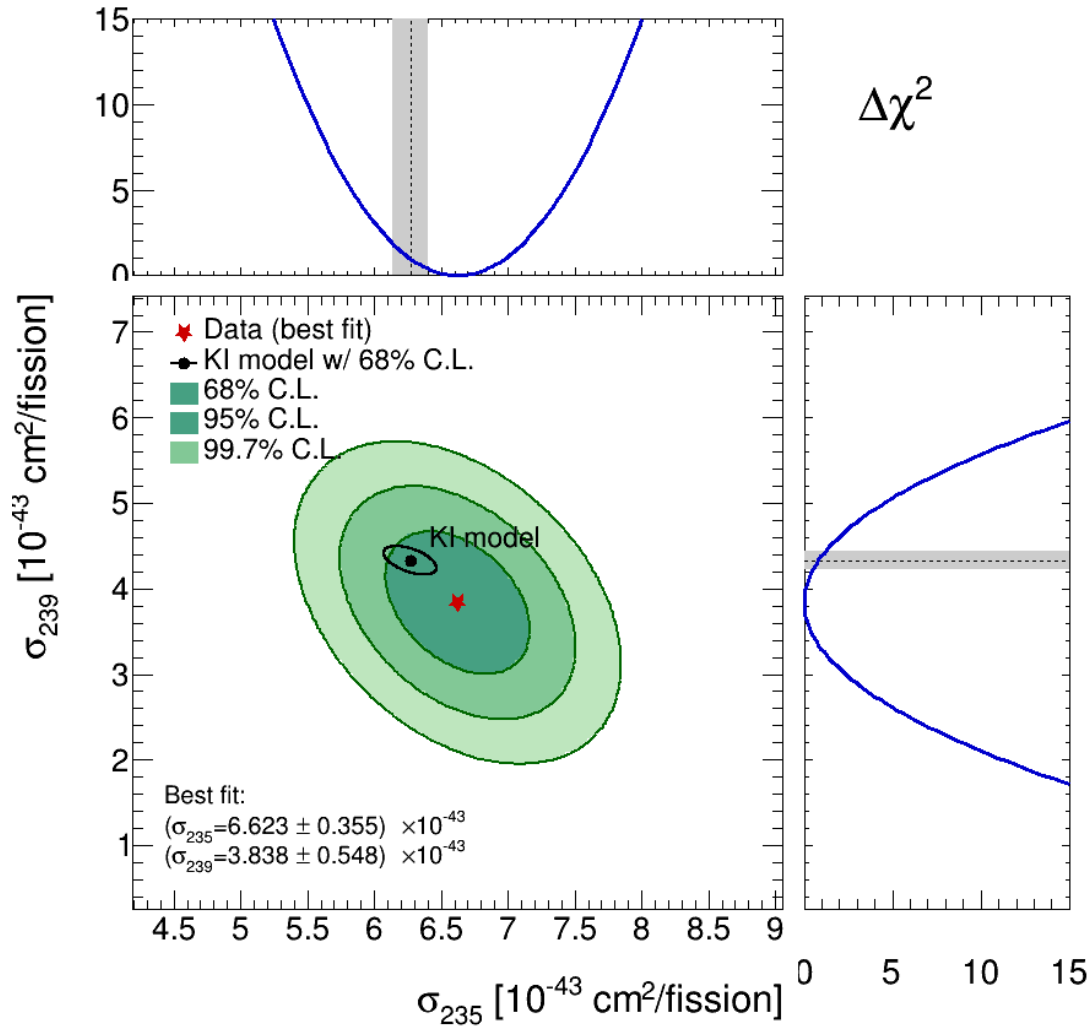
Энергетическая зависимость изменения скорости счёта



Падение скорости счёта явно демонстрирует зависимость от диапазона энергий. В низкоэнергетической области результат согласуется с измерениями Daya Bay и DANSS.



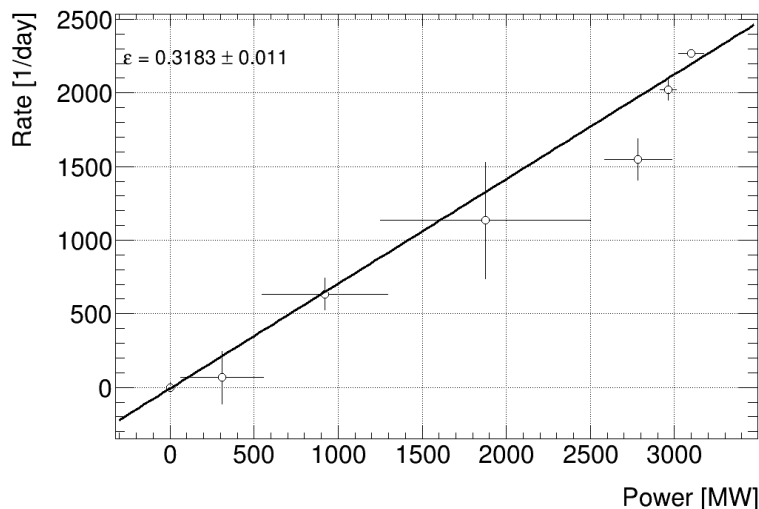
Определение выходов ОБР



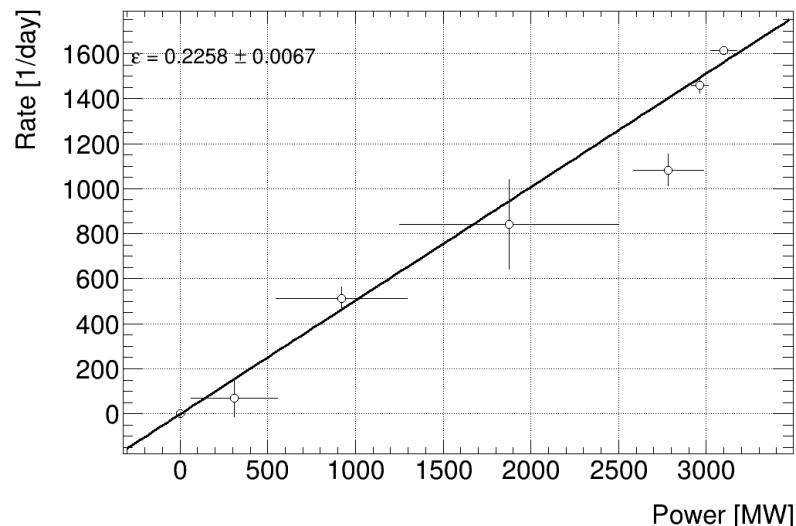
По зависимости скорости счёта от долей деления были оценены эффективные выходы ОБР для ^{235}U и ^{239}Pu . Полученные значения $\sigma_{235} = (6.62 \pm 0.35) \times 10^{-43}$ и $\sigma_{239} = (3.84 \pm 0.55) \times 10^{-43}$ согласуются с моделью KI $\sigma_{235} = (6.27 \pm 0.13) \times 10^{-43}$ и $\sigma_{239} = (4.33 \pm 0.11) \times 10^{-43}$ в пределах неопределённостей.

Проверка эффективности регистрации

$E_p > 2$ МэВ

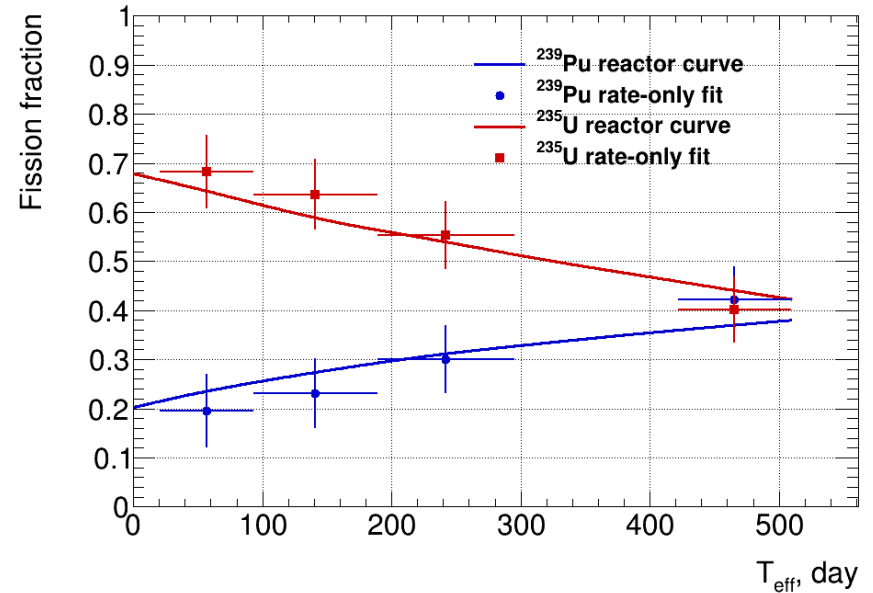
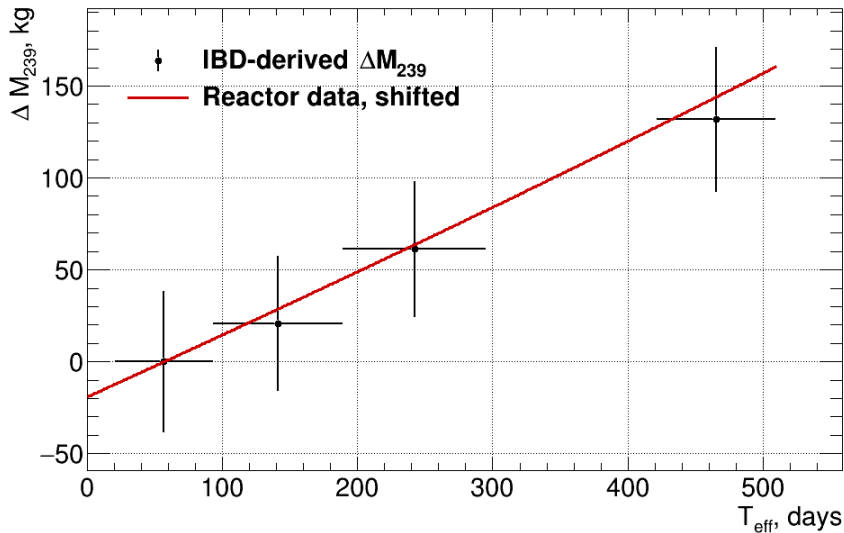


$E_p > 3$ МэВ



Эффективность регистрации проверялась по зависимости скорости счёта от мощности реактора. Полученные значения согласуются с независимой оценкой эффективности по калибровочным данным, $\epsilon=0.33\pm0.02$ и $\epsilon=0.22\pm0.01$ для 2 и 3 МэВ соответственно

Масса наработанного плутония и доли деления изотопов



$$\Delta N = K \frac{P_{th}}{E_f} \Delta f_9 \Delta S_{5-9}$$

$$\Delta M_{239} \approx \frac{m_{239}}{N_A} \frac{P_{th}}{E_f} \frac{\Delta f_9}{\Phi \sigma_{f,239}}$$

Используя измеренную зависимость скорости счёта и оценку эффективности регистрации, получена оценка массы наработанного плутония и текущих долей деления изотопов в кампании.

Заключение

- Выполнен анализ данных детектора iDREAM.
- Проведен анализ спектра детектора, в спектре наблюдается “бамп” в 5 МэВ, спектральная реакторная аномалия.
- Проанализировано падение скорости счета в зависимости от диапазона энергии, полученные зависимости согласуются с другими экспериментальными значениями.
- Произведено измерение выходов ОБР для ^{235}U и ^{239}Pu , полученные значения согласуются со значениями модели KI.
- Получена оценка накопленного плутония и долей деления изотопов.

Педагогическая практика

- Было принято участие в защитах НИРС бакалавров и магистров
- Были проведены семинары по предмету «Аналитическая механика»

Апробация работы

Публикации:

- Zhutikov I., Litvinovich E., Khvatov V. Effect of the inclusion of the detailed geometry of the reactor core on the calculated antineutrino flux from a VVER-1000 reactor // JETP Letters. — 2024. — Vol. 119, No. 3. — P. 158–165.
- Abramov A. et al. Antineutrino Signal in the iDREAM Detector at Kalinin NPP // Physics of Atomic Nuclei. — 2023. — Vol. 86, No. 6. — P. 1389–1393.
- Вклад неопределённости долей деления нуклидов в неопределённость потока антинейтрино реактора ВВЭР-1000 (В процессе рецензирования, Письма в ЭЧАЯ)
- О восстановлении аксиального распределения мощности в активной зоне реактора по потоку антинейтрино (Планируется к отправке в журнал в ближайшие дни, ВАНТ)

Конференции:

- Жутиков И. Сигнал от антинейтрино в детекторе iDREAM на Калининской АЭС // Курчатовская междисциплинарная молодёжная научная школа: материалы школы. — 2023. — С. 298.
- Жутиков И. Влияние учёта детальной геометрии активной зоны на поток антинейтрино от реактора ВВЭР-1000 // XII Всероссийский молодёжный научный форум с международным участием «Open Science 2025»: материалы (тезисы докладов). — 2025.

Back up

Изменение спектра в ходе кампании

