

# Образование аксионов в ядерных переходах осколков деления в активной зоне реактора

Задорожная С.А., студентка 3 курса  
ИЯФИТ НИЯУ МИФИ

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

Москва, 2026



# Введение



**Цель работы:** Рассчитать ожидаемый поток аксионов, образующихся в М1-переходах осколков деления U-235 и Pu-239 в активной зоне ядерного реактора на основе анализа ядерных данных и построения графической зависимости интенсивности выхода аксионов.

## Задачи:

1. Отбор и анализ осколков деления U-235 и Pu-239 тепловыми нейтронами, которые испытывают М1-переходы.
2. Учёт энергетических и вероятностных характеристик М1-переходов для отобранных осколков.
3. Построение графика зависимости предполагаемой эмиссии аксионов в М1-переходах в активной зоне реактора с учётом выхода осколков и вероятности данного перехода.

# Ядерный переходы



## Правила отбора:

1. Изменение спина:  $\Delta I = 0, +1, -1$ .
2. Чётность для магнитных переходов:  $p_2 = (-1)^{L+1} * p_1$

## Правила отбора для M1-переходов:

1. Переход происходит между двумя уровнями ядра с полными угловыми моментами  $I_i$  и  $I_f$ . Тогда уносимый момент должен лежать в диапазоне:  $|I_i - I_f| \leq L \leq |I_i + I_f|$ .
2. Чётность фотона в магнитных переходах:  $p(M1) = (-1)^{L+1}$

# Образование аксионов



**При испускании аксиона в M1-переходе:**

1. Ядро меняет момент с  $I_i$  на  $I_f$ .
2. Аксион уносит полный момент, равный  $L$ , и чётность  $-1$ .
3. Закон сохранения момента:  $I_i = I_f + L$ .
4. Закон сохранения чётности:  $p_i = p_f * ((-1)^*(-1)^L)$

**Получим, что:**

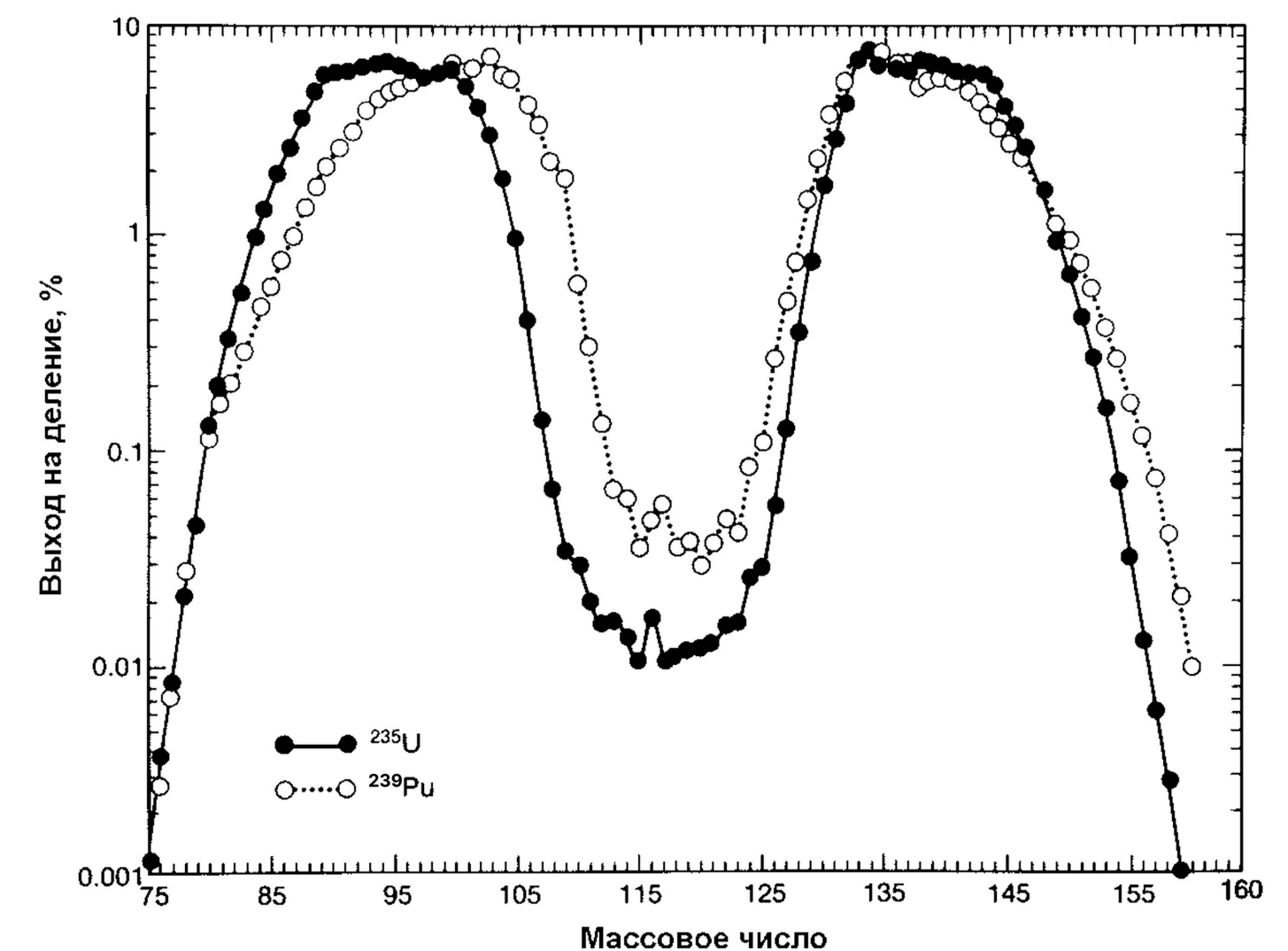
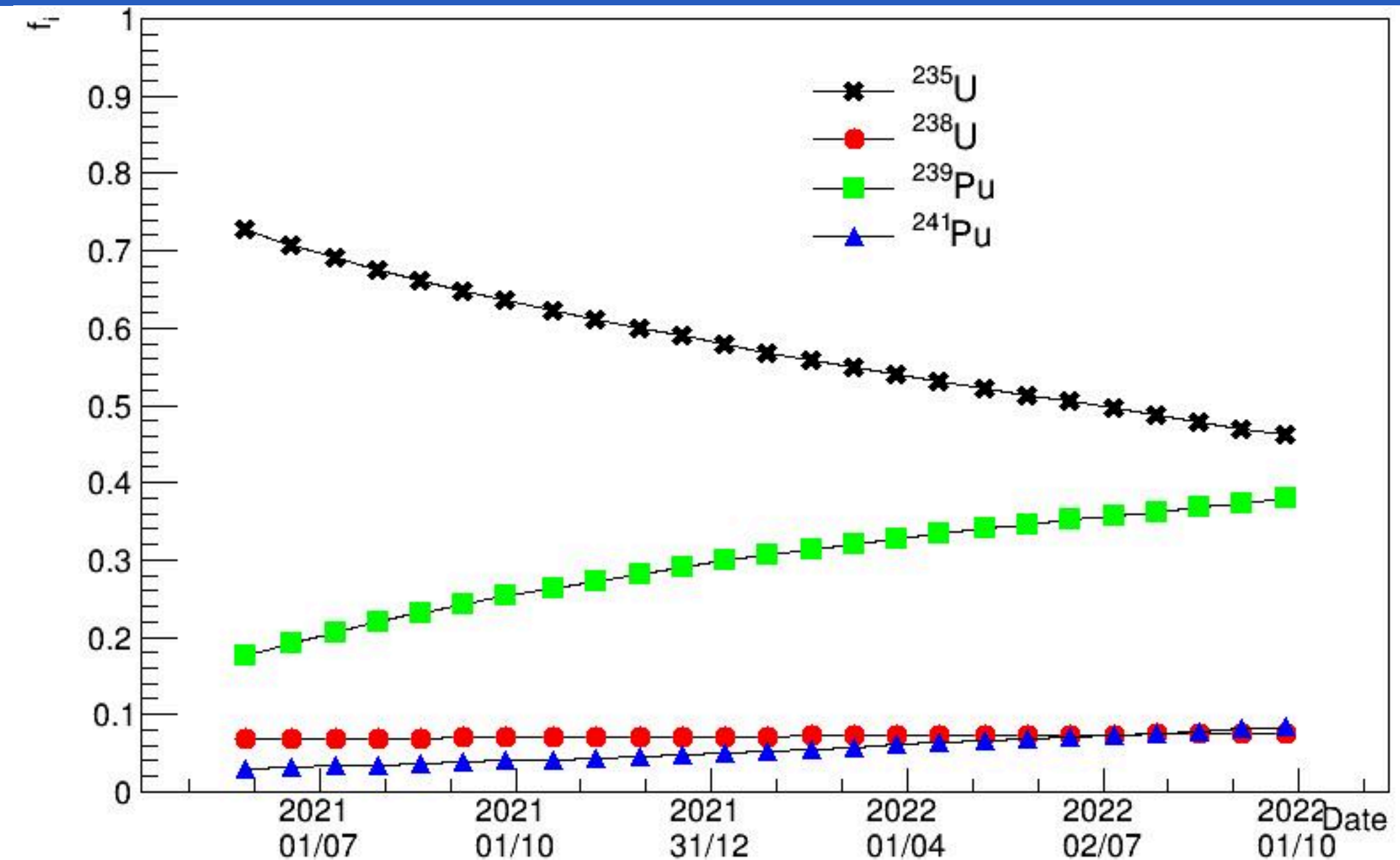
1. Чётность не меняется ( $p_i = p_f$ )  $\rightarrow 1 = (-1)^{L+1} \rightarrow L$  – нечётное  $\rightarrow$  наименьшее возможное  $L=1$ .
2. Тогда аксион уносит  $L=1$ .
3. Сохранение момента:  $I_i = I_f + L$ , что допускает  $\Delta I = 0, +1, -1$ .

**Вывод:** аксион может рождаться в M1-переходе, испускаясь с орбитальным моментом  $1$ , что обеспечивает сохранение полного момента и чётности.

# Работа с ENSDF



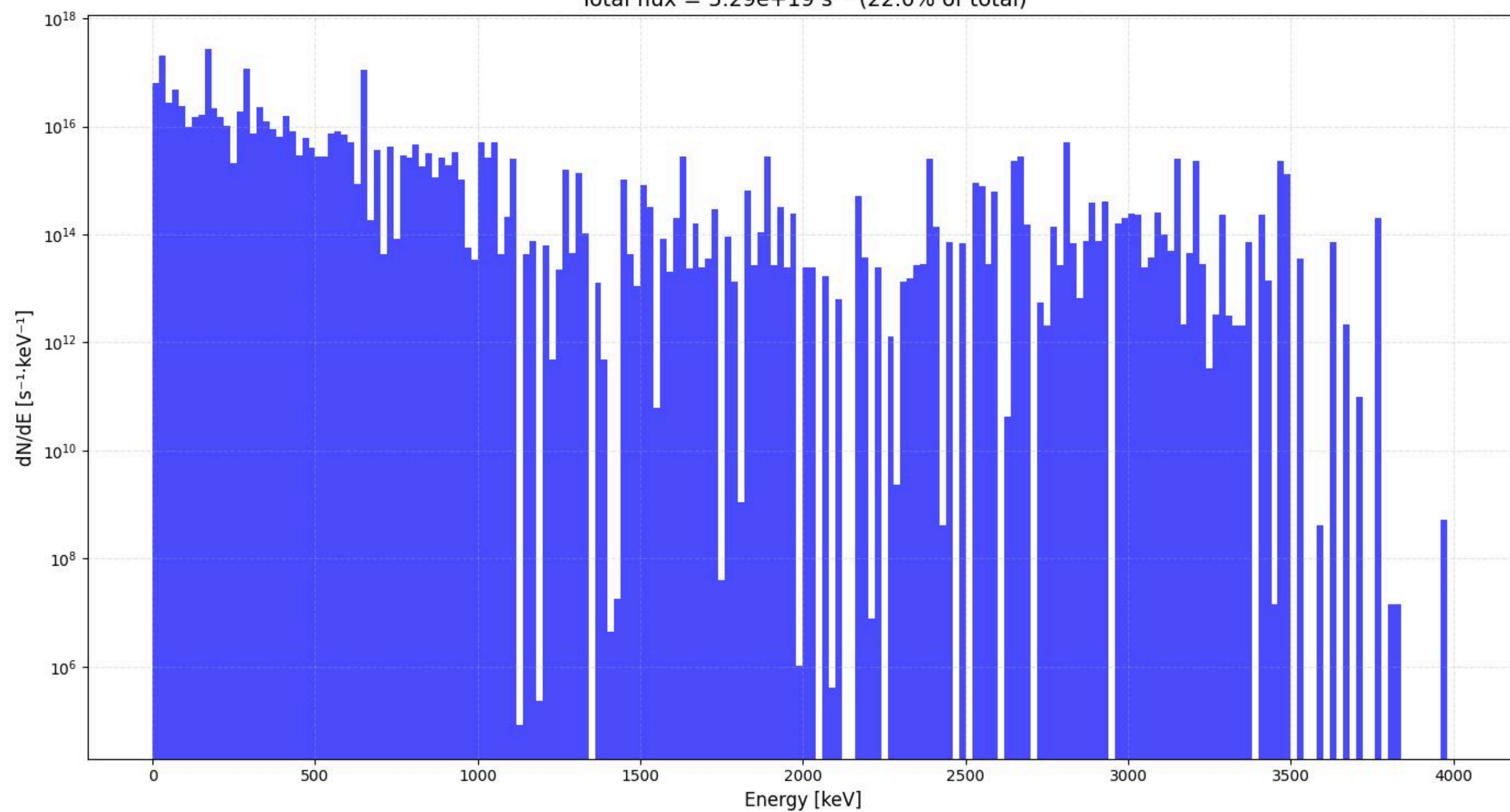
1. В рассмотрении участвовали осколки U235 и Pu239 с известными вероятностями распада.
2. Массовые числа выбранных осколков принадлежат диапазонам:  $72 < A < 161$  для U235 и  $70 < A < 165$  для Pu239.
3. Вероятность чистого и смешанного M1-перехода рассчитывалась как интенсивность, делённая на 100.
4. В случае отсутствия данных об интенсивности перехода, она принималась равной 100%.
5. Значения интенсивности вида "159 LE" интерпретировались как верхний предел, при этом использовалась половина указанного числа.
6. Вероятность получения аксиона в M1-канале смешанного перехода принималась равной вероятности всего смешанного перехода.
7. При расчёте потока учитывалась доля U235 и Pu239 в среднем по кампании.



# Вклад чистых и смешанных M1-переходов



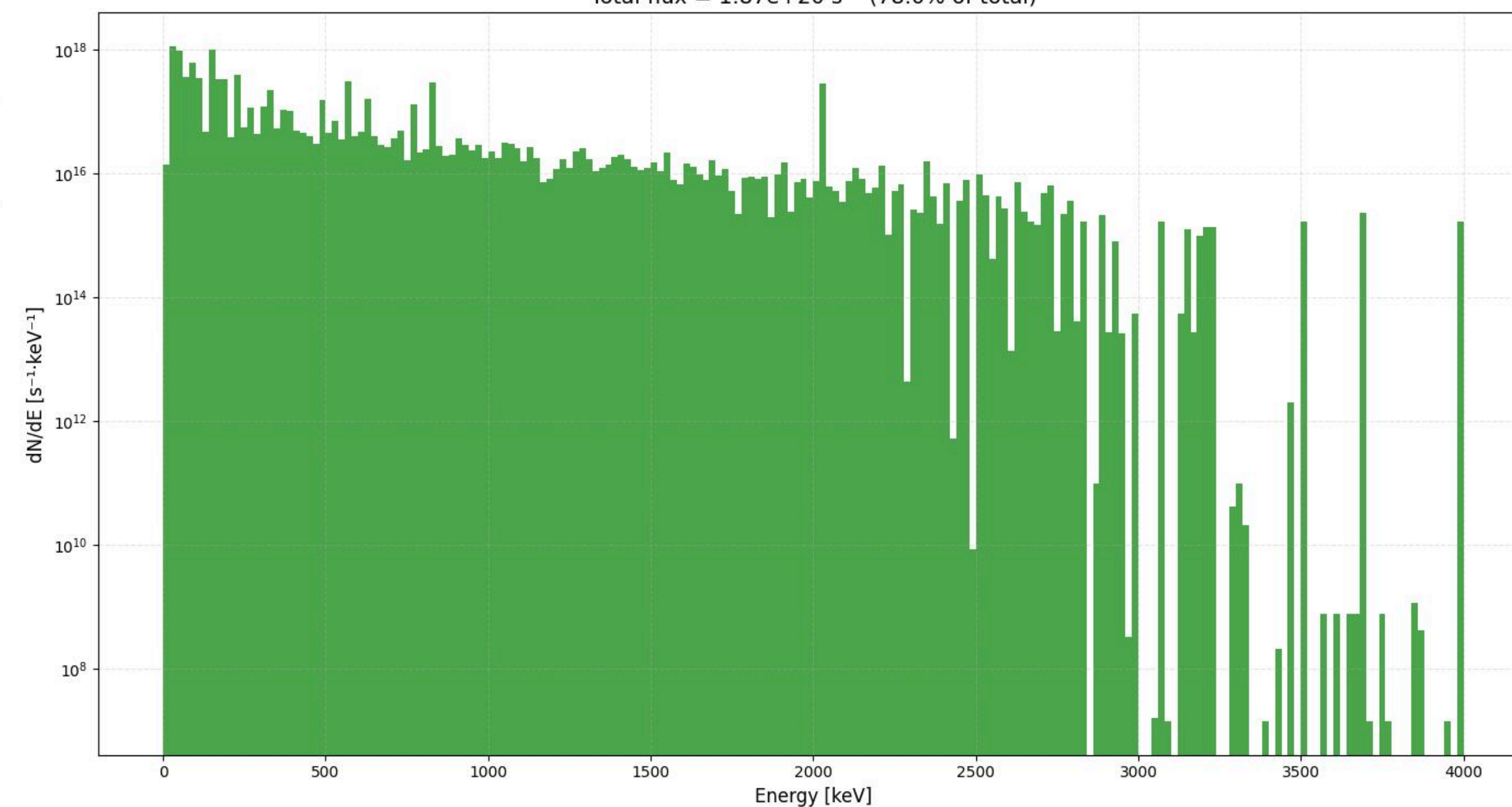
Pure M1 transitions: dN/dE spectrum  
Total flux =  $5.29 \times 10^{19} \text{ s}^{-1}$  (22.0% of total)



Вклад чистых M1-переходов — 22%  
5245 переходов

Вклад смешанных M1-переходов — 78%  
15683 переходов

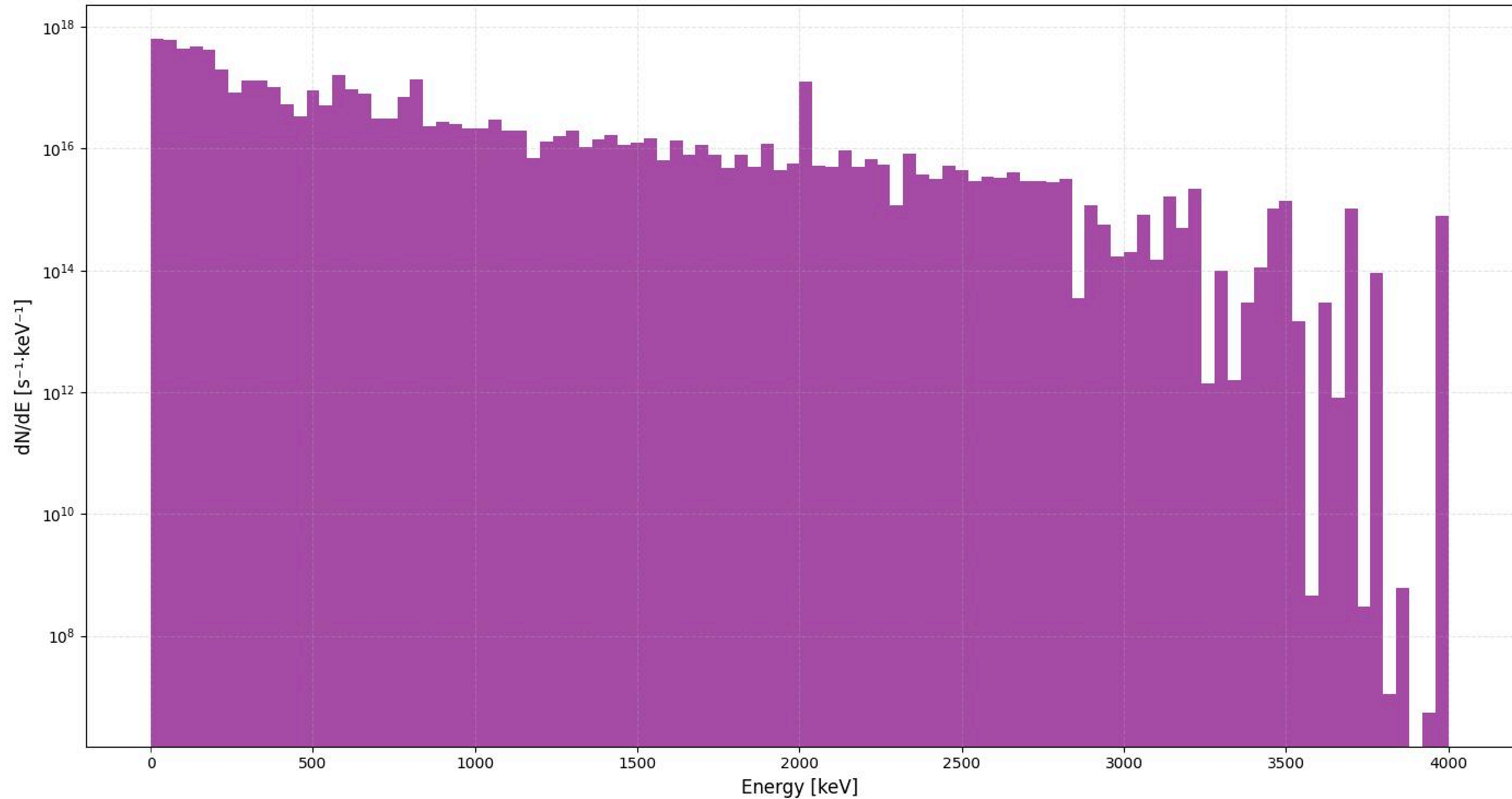
Mixed M1 transitions (M1+E2, M1+E2+E0, etc.): dN/dE spectrum  
Total flux =  $1.87 \times 10^{20} \text{ s}^{-1}$  (78.0% of total)



# Энергетический спектр аксионов



Differential M1 gamma flux (dN/dE) from U-235 + Pu-239  
Total flux =  $2.17 \times 10^{20} \text{ s}^{-1}$





1. Проведён расчёт ожидаемого потока аксионов, образующихся в магнитных дипольных (M1) переходах осколков деления U-235 и Pu-239 в активной зоне ядерного реактора на тепловых нейтронах.
2. На основе базы ядерных данных ENSDF выполнены отбор и анализ осколков деления, испытывающих чистые и смешанные M1-переходы, с учётом их энергетических характеристик, вероятностей переходов и независимых выходов осколков.
3. Рассчитан дифференциальный и полный поток аксионов.

**Вывод:** Установлено, что эмиссия аксионов достигает порядка  $10^{20} \text{ с}^{-1}$ , что сопоставимо с потоком реакторных антинейтрино. Энергетический спектр вылетающих аксионов сосредоточен преимущественно в области до 4 МэВ.

Таким образом, цель работы — количественная оценка потока аксионов от M1-переходов в осколках деления U-235 и Pu-239 — достигнута. Результаты могут быть использованы при планировании экспериментального поиска аксионов в экспериментах на ядерных реакторах.

**Спасибо за внимание!**

