# Уравнения точечной кинетики с одной группой запаздывающих нейтронов

## Введение для "чайников"

Деление тяжелего ядра нейтроном сопровождается вылетом одного или нескольких нейтронов, гамма-излучением и появлением осколков деления. Последние, как правило, радиоактивны вследствие избытка нейтронов в исходном тяжелом ядре и распадаются, в том числе и с вылетом нейтронов. Таким образом, в результате деления ядра нейтроны появляются как непосредственно в реакции деления, так и в результате распада осколков деления. Распад радиоактивных ядер характеризуется периодом полураспада -- временем, за которое распадется в среднем половина ядер одного типа. Период полураспада осколков деления намного больше времени, за которое проходит реакция деления, поэтому нейтроны, непосредственно вылетевшие при делении, и нейтроны, вылетевшие в результате распада радиоактивных осколков деления различаются по времени появления. Первые называют мгновенными нейтронами, вторые -- запаздывающими. Соответственно, радиоактивные осколки деления, распад которых сопровождается вылетом нейтронов, называются предшественниками запаздывающих нейтронов, или коротко, предшественниками.

Предшественники имеют периоды полураспада, которые различаются на порядки, от нескольких миллисекунд до нескольких минут.

Запаздывающие нейтроны существенно влияют на управляемость реактора. Наличие запаздывающих нейтронов приводит к тому, что цепная реакция деления не может быть остановлена мгновенно. Даже при введении большого количество поглотителя, которое сразу останавливает цепную реакцию деления, в системе остаются еще нераспавшиеся предшественники запазыдвающих нейтронов, распад которых поддерживает ненулевое количество нейтронов, которые в свою очередь продолжают делить тяжелые ядра.

## Введение для статьи

Уравнения точечной кинетики реактора (УТК) обычно содержат 6 -- 9 групп предшественников запаздывающих нейтронов. Это количество, как и параметры групп -- доля и постоянная распада -- определяются так, чтобы наиболее точно описывать экспериментально измеренное временное поведение потока нейтронов.

Известно, что УТК с одной группой допускают аналитическое решения для широкого класса переходных процессов, включая процессы с обратными связями, но могут использоавться только для качественного анализа, так как имеют большую погрешность. Тем более, что одногрупповое приближение оно показывает разгон реактора слишком медленным, т.е. консервативно. В данной работе предлагается способ определения постоянной распада группы в одногрупповых УТК, позволяющий сохранить точность, характерную для нескольких групп.

## Общий план

Разбиение на группы -- это условность. Группы получаются, еsсли пренебречь малыми временами (где будет вранье) и попытаться получить правильное решение в асимптотике.

В кипине есть связь асимптотического периода и реактивности. В асимптотике остается одна экспонента, которая связана со всеми группами.

Как определяются параметры групп из экспериментов. TODO: узнать про эксперименты. Ответ: см. Кипин. либо импульсный источник нейтронов, либо мнговенное обрубание мгновенных нейтронов. См. записи ниже в разделе "Литература".

Формальный способ -- учесть все предшественники по-отдельности. Привести доступные данные по выходу и постоянной распада и показать влияние погрешности этих данных. На каком переходном процессе? TODO: где взять данные?

Новый способ: критерий, уравнения. TODO: описать словами новый способ. Критерий: асимптотическое поведение (показатель экспоненты) одинаково для 6 групп и для одной группы. Отсюда определяется лямбда для одной группы.

Замечание для плутония: на уране появлется Пу. На ториевом: сначла уран 233 с примесью 232 (дрянь, из-за полураспада). начально будет энергетический пу (30% 40-го и 50% 239).

# Литература

## Обзор методов определения параметров зап. групп

### Пиксайкин, Рощенко

В работе https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs10512-007-0023-1.pdf измеряется временное поведение нейтронного потока после облучения. Экспериментальная кривая приближается суммой экспонент и методом наименьших квадратов определяются доли групп и постоянные распада. Для увеличения точности определения параметров отдельных групп проводятся облучения различной длины (времени). Количество групп, 6, задается заранее.

### Michaele Brady dissertaition

#### Abstract

До 1300 нуклидов образуются при делении. Из них 271 определены как предшественники зн. Обширный справочник по зн был скомпилирован, который содержит выходы нуклидов, вероятности выхода зн и спектры для каждого из этих 271 нуклидов. Эта работа акцентируется на уточнении спектральных данных. Экспериментальные данные из лабораторий США, Германии и Швеции объеденены в эту оценку. Экспериментальные данные дополнены модельными расчетами таким образом, что спектры включенные в окончательный вариант библиотеки выходят за пределы полного теоретического интервала энергий зн. Модели также были использованы для предсказания спектров для нуклидов без измеренных данных.

Данные были использоавны для того, чтобы посчитать общее поведение зн для 43 делящихся систем по оцененным выходам продуктов деления. ЗН активности, предсказанные с использованием явных данных по предшественникам были также аппроксимированы тремя, шестью, девятью и двенадцатью группами с ипользованием метода наименьших квадратов. Данные шестигруппового, наиболее распространенного приближения, были также использованы для определения согласованного набора шестигрупповых спектров. Также проведено сравнение с измерениями интегральных спектров. Расчеты эффективной доли зн для простой системы Годайва были проведены и сравнены с экспериментальным значением.

Уравнения точечной кинетики были модифицированы для включения данных из справочника. Как явные данные, так и групповые были использованы для того, чтобы посчитать отклик реактора на ступенчатый ввод реактивности.

Данные по предшественникам и шестигрупповые данные предполагается включить в следующую версию библиотеки оцененных данных ENDF/B-VI.

#### Introduction

Из введения в диссертацию: Ранние методы разделения изотопов не позволяли индивидуальное изучение предшественников (многие из которых с временем полураспада порядка десятых долей секунды). Оказалось, что удобно рассматривать группы предшественников, которые характеризуются каждая своим периодом полураспада. К 1950 году выяснилось, что поведение активности во времени описывается хорошо шестью группами.

Набор данных для зн широко используется как библиотека ENDF/B. Настоящая версия включает себя данные (выходы, постоянные распада, групповые спектры) в групповом формализме. Достижения в технике онлайн резделения изотопов идетекторов нейтронов позволили в настоящее время получить данные и для отдельных предшественников.

Расчет выхода зн по индивидуальным данным по предшественникам дает некоторые преимущества. Основое -- один и тот же набор данных (вероятности эмиссии и спектры) может быть использован для пресказания выхода зн для любой делящейся системы, если только данные по выходам продуктов деления известны. Испльзуемые в настоящее время методы, основанные на групповом представлении временного поведения требуют отдельных наборов данных для каждой делящейся системы. Использование данных по индивидуальным предшественникам для расчета временного поведения очевидно (просто, прямолинейно). Кроме того, данные по предшественникам могут быть непосредственно использваны для расчета выхода зн как для импульсного, так и для расновесного облучения. ...